

Doktori (PhD) értekezés tervezet

Gajdács László százados

2025.

**NEMZETI KÖZSZOLGÁLATI EGYETEM
HADTUDOMÁNYI ÉS HONVÉDTISZTKÉPZŐ KAR
KATONAI MŰSZAKI DOKTORI ISKOLA**



Gajdács László százados

**LÉGIJÁRMŰVEK ÉS DRÓNOK ÖSSZEÜTKÖZÉSI KOCKÁZATÁNAK
REPÜLÉSBIZTONSÁG-NÖVELÉSÉRE IRÁNYULÓ VIZSGÁLATA,
AZ ÖSSZEÜTKÖZÉSI VESZÉLY CSÖKKENTÉSÉNEK LEHETSÉGES
MEGOLDÁSAI**

Doktori (PhD) értekezés tervezet

Témavezetők:

Dr. Palik Mátyás ezredes, PhD

Dr. Dudás Zoltán, alezredes PhD

Budapest, 2025.

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS	6
A témaválasztás indoklása, aktualitása	6
A tudományos probléma megfogalmazása	10
Kutatási célkitűzések.....	11
Kutatási hipotéziseim	12
Kutatási módszerek.....	12
Szakirodalmi áttekintés	13
Az értekezés felépítése.....	17
Köszönetnyilvánítás	19
1. PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰ, LÉGIJÁRMŰ RENDSZEREK	20
1.1. Az autonómia értelmezése és szerepe a pilóta nélküli légi járműveknél	25
1.2. Pilóta nélküli légi járművek alkalmazásainak főbb területei, osztályozásuk	27
1.3. Pilóta nélküli légi járművek osztályozása.....	30
1.3.1. Az UAS NATO szerinti osztályozása	30
1.3.2. Az UAV-UAS EU-s és nemzeti jogszabályok szerinti kategorizálása	32
1.4. Pilóta nélküli légi járművek, légi jármű rendszerek szerkezeti kialakítása, felépítése	36
1.5. 3D nyomtatás szerepe a pilóta nélküli légi járművek gyártását illetően	40
1.6. Következtetések	43
2. A PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰVEK MŰKÖDÉSI KÖRNYEZETÉNEK	
BEMUTATÁSA.....	45
2.1. A hagyományos légi járművek működési környezete.....	45
2.1.1. A polgári repülőterek.....	45
2.1.2. Polgári repülőterek jellemzői, főbb részei.....	46
2.1.3. A katonai repülőterek.....	48
2.1.4. A polgári és a katonai repülés jellemzőinek összehasonlítása	49
2.2. A hagyományos és a pilóta nélküli légi járművek közös légtérben való működését befolyásoló tényezők.....	51
2.3. Pilóta nélküli légi járművek katonai alkalmazásának aspektusai	51
2.4. Légterek felépítése, szerkezete	53
2.5. Az állami célú pilóta nélküli légi jármű rendszerek jogszabályi környezetének vizsgálata	54
2.6. Pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának meteorológiai szempontjai.....	56

2.7.	Következtetések	59
3.	PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰVEK REPÜLSBIZTONSÁGI ELEMZÉSE	61
3.1.	Pilóta nélküli légi járművek megjelenésükből adódó veszélyforrások ismertetése	63
3.1.1.	Repülésbiztonsági kockázat.....	63
3.1.2.	A veszély értelmezése	64
3.1.3.	Légiközlekedési esemény vizsgálatához használt módszerek, modellek.....	67
3.1.4.	Repülésbiztonsági Irányítási Rendszer (Safety Management System - SMS)	71
3.1.5.	Kockázatelemzési folyamat.....	73
3.1.6.	Pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának főbb kockázat típusai	75
3.2.	A hagyományos- és a pilóta nélküli légi járművek veszélyes megközelítésének fokozatai	76
3.3.	Drónos repülőesemények és incidensek vizsgálata.....	77
3.4.	Hazai és nemzetközi esettanulmányok vizsgálata.....	80
3.4.1.	Esettanulmány I. - Súlyos „drón-helikopter” repülő esemény az M60 autópálya mellett, Szajk térségében.....	80
3.4.2.	Esettanulmány II. - Drón incidensek, a Gatwicki eseménysorozat.....	85
3.5.	Pilóta nélküli légi járművek előfordulási gyakoriságának vizsgálata	86
3.5.1.	Előfordulási gyakoriság esetszámai Magyarországon	92
3.5.2.	Előfordulási gyakoriság esetszámai az Európai Unióban	95
3.5.3.	Előfordulási gyakoriság esetszámai az Amerikai Egyesült Államokban.....	98
3.5.4.	Előfordulási gyakoriság esetszámai az Egyesült Királyságban	100
3.6.	Észlelt drón incidensek magasság szerinti eloszlása.....	102
3.6.1.	A Szövetségi Légiközlekedési Hivatal (FAA) által közzétett adatok vizsgálata.....	103
3.6.2.	Az Egyesült Királyság Airprox Tanácsa (UK AIRPROX BOARD) által közzétett adatok vizsgálata.....	107
3.6.3.	Az FAA és UK AIRPROX BOARD jelentések adatainak az összevetése, következtetések.	109
3.7.	Következtetések	110
4.	A PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰVEK DETEKTÁLÁSÁNAK MÓDSZEREI	111
4.1.	A pilóta által vezetett légi járművek felderítésének jelentősége a polgári és katonai repülésben.....	112
4.2.	A pilóta nélküli légi járművek felderítésének és láthatóságának szükségessége.....	113
4.3.	Kihívások az UAV-k láthatóságában	114
4.4.	Légi járművek detektálásának módjai	115
4.4.1.	Tárgyak detektálása elektroakusztikus méréssel	116

4.4.2.	<i>Tárgyak detektálása elektromágneses hullámtartomány méréssel</i>	118
4.4.3.	<i>Tárgyak detektálása elektrooptikai rendszerek alkalmazásával</i>	119
4.5.	Radar rendszerek felhasználása drónok detektálására.....	120
4.5.1.	<i>Radar rendszerek alapvető működésének bevezetése</i>	120
4.5.2.	<i>Drónok RCS méréseinek a jelentősége</i>	125
4.6.	Az OGN rendszer alkalmazása drónok detektálására	126
4.7.	Következtetések	129
5.	DRÓNOK VIZUÁLIS LÁTHATÓSÁGÁNAK JELENTŐSÉGE, LÁTHATÓSÁGRA IRÁNYULÓ VIZSGÁLATOK.....	131
5.1.	Pilóta nélküli légitjárművekre „láthatóságára” vonatkozó hazai és nemzetközi szabályozások	131
5.1.1.	<i>Az európai uniós jogszabályi környezet</i>	131
5.1.2.	<i>Nemzetközi jogszabályi környezet</i>	132
5.1.3.	<i>Hazai jogszabály környezet</i>	133
5.2.	Hagyományos légitjárművek fénytechnikai rendszereire vonatkozó előírások.....	134
5.2.1.	<i>Hagyományos légitjárművek fénytechnikai rendszerei</i>	134
5.2.2.	<i>Kereskedelmi drónok fénytechnikai rendszerei</i>	137
5.3.	Összeütközést megelőző LED-es villogó lámpák- és OGN tracker hatékonyságának a tesztelése	139
5.3.1.	<i>A mérésekhez használt RS-900 OGN vevőállomás, valamint „OGN trackerek” ismertetése</i>	141
5.3.2.	<i>A mérések alapját képező L1 és L2 LED-es villogó lámpák ismertetése</i>	143
5.4.	M1 - mérés: földre telepített villogó lámpák láthatóságának nappali-éjszakai földi mérése	146
5.5.	M2 – mérés: földre telepített villogó lámpák láthatóságának légi mérése drónnal..	151
5.6.	M3 – mérés: drónra telepített villogó lámpa (valamint OGN jeladó) láthatóságának légi mérése drónnal (OGN jeladó).....	154
5.7.	M4 – mérés: drónra telepített villogó lámpa (valamint OGN jeladó) láthatóságának légi mérése repülőgéppel (OGN jeladó)	159
5.8.	Következtetések	166
	ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK.....	167
	ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	169
	A KUTATÁSI EREDMÉNYEK GYAKORLATI FELHASZNÁLHATÓSÁGA	170
	AJÁNLÁSOK	171
	TOVÁBBI KUTATÁSI IRÁNYOK.....	172

A TÉMAKÖRBEN KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓIM	173
IRODALOMJEGYZÉK	175
FÜGGELÉKEK	185
ÁBRÁK JEGYZÉKE.....	185
TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE	187
DEFINÍCIÓK JEGYZÉKE	188
RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE.....	189

BEVEZETÉS

A témaválasztás indoklása, aktualitása

Az utóbbi évtized folyamán a drónok egyre inkább megjelennek az élet számos területén. A 2000-es évek elején alapvetően katonai műveletekben voltak használva, azonban az elmúlt mintegy 20 évben egyre inkább jelen vannak környezetünkben. Számos egyetem vagy vállalkozások által végzett komoly kutatások segítik elő a technológia fejlődését és elterjedését.

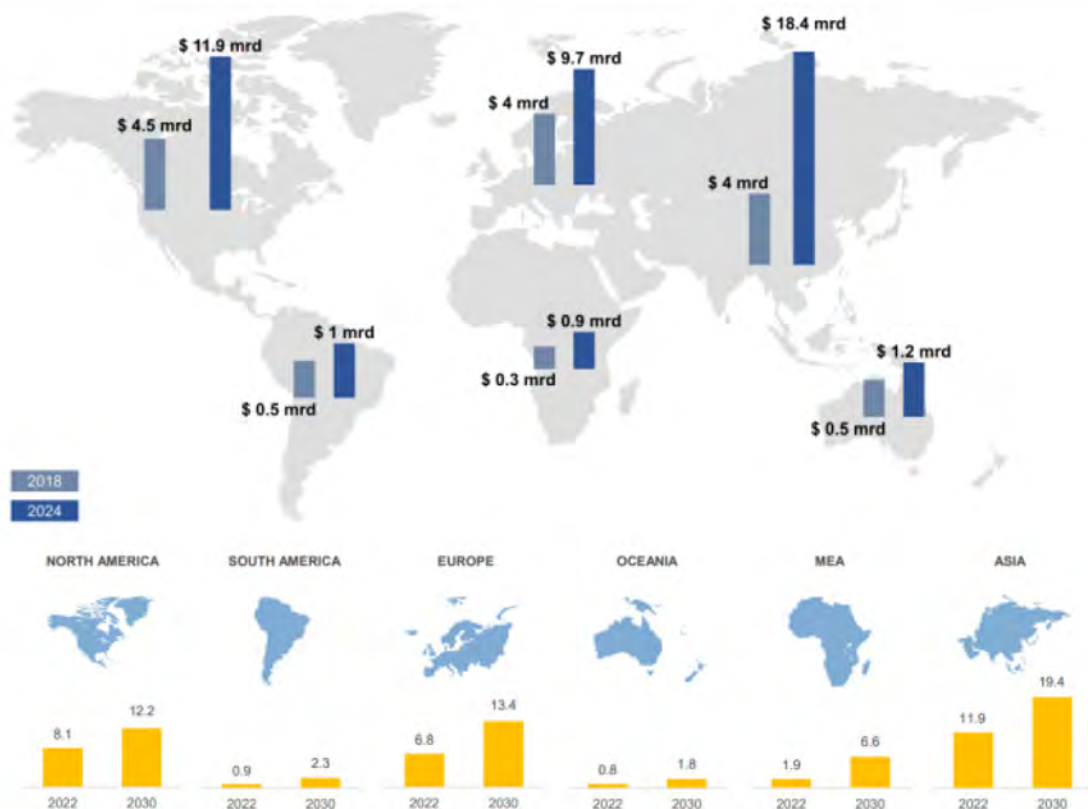
Az előrejelzések szerint várhatóan 2030-ra USA és Kína megőrzi drónipari vezető pozíciójukat, azonban Európa is biztatónak ígérkezik ezen a téren. Az EU-ban is várhatóan a kereskedelmi és a kormányzati szektor fog domináns szerepet betölteni a jövőt illetően. Ezen szektorokban használt drónok száma 2030-ra elérheti a 350 000-et is. Ha a piaci elvárásokhoz sikerül társítani a minőséget, a nagyobb hatékonyságot és a magas szintű automatizációt, akkor az innovatív dróntechnológia még túl is szárnyalhatja ezeket a becsült számokat [1].

A pilóta nélküli légijárművek fokozódó jelenléte számos kérdést vet fel, és újabb megoldandó problémákat eredményez. A drónok Magyarországon tapasztalható egyre növekvő elterjedése és alkalmazásuk iránti igény leginkább az elmúlt hat évben érezhető. Ez főként köszönhető annak, hogy a 2019 előtti időszakban nem valósult meg olyan egységes európai jogszabályi keretrendszer, amely lehetővé tette volna ezen eszközök tömeges, hatékony és biztonságos használatát. A Nemzeti Közlekedési Hatóság Légügyi Hatósága drónok kereskedelmi célú felhasználására mintegy száz engedélyt adott ki 2015. júliusáig. Az Európai Unió korábbi nyilatkozatai szerint a drónok polgári légtérbe való integrálását 2016-ra tervezték. Majd ezt követően 2019-ben került kiadásra azok az EU- jogszabályok, amelyek megteremtették annak lehetőségét, hogy ezen eszközöket egyre szélesebb körben és hatékonyabban lehessen alkalmazni az élet számos területén [2].

A pilóta nélküli légijárművek használata iránti növekvő igényt korábban már az Európai Unió is felismerte. Ennek támogatására/szabályozására létrehozta a Drónstratégia 2.0 programot 2022. december 05-én. Az EU-s program keretrendszer célja megteremteni egy olyan biztonságos környezetet, ahol hatékonyan lehet alkalmazni a drónokat, továbbá ebben a környezetben hozzáférést biztosítani a versenyképes piaci szereplők számára. Ennek megvalósításához nélkülözhetetlen, a drónok biztonságos és fenntartható integrációjára az európai légtérbe. A drónstratégia kiemelten összpontosít a társadalmi elfogadottságra, a szabályozási fejlődésre és a

környezetbarát dróntechnológiák fejlesztésére is és lehetőséget megteremteni számos területen történő alkalmazásukra [3].

Növekvő elterjedésüket számos piackutató vizsgálja és analizálja évről évre. Nem véletlenül, hiszen egy olyan technológia robbant be a társadalomba az elmúlt évtizedben, mellyel mindenképpen foglalkozni kell. A drónok jelenlegi is várható piaci növekedését támasztja alá a Drone Industry Insight piaci elemzése is, amelyet az 1. ábra is szemléltet.



1. ábra Kereskedelmi drónok elterjedésének várható előrejelzése
(készítette a szerző a [4] alapján)

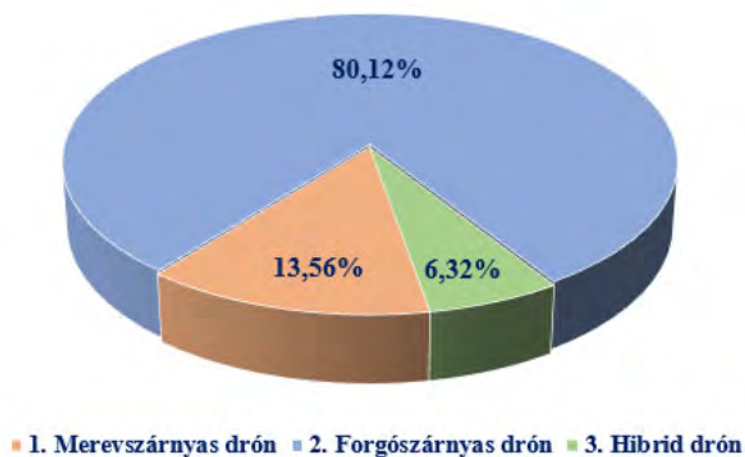
A kereskedelmi drónok piaci elemzése azt vizsgálja, hogy a technológia iránti kereslet milyen mértékben fog változni az előrejelzés időszakára vetítve. Látható módon az elmúlt években világszerte jelentősen megnövekedett az UA¹ eszközök iránti igény, ezzel párhuzamosan a piaci forgalom is. A piaci előrejelzés kilenc évet ölel át egyben vizionálja azt, hogy a pilóta nélküli légitjárművek iránti kereslet folyamatosan növekedni fog az elkövetkezendő években.

A várható előrejelzés szerint a pilóta nélküli légitjárművek iránti igény a 2022-es több mint 30 000 milliárd dollárról 2030-ra elérheti a közel 60 000 milliárd dollár forgalmat is. Ez évente

¹ UA - Unmanned Aircraft – Pilóta nélküli légitjármű

7,8%-os átlagos növekedést jelent. A piac legdominánsabb szereplői közé tartozik a DJI, Autel Robotics, Parrot Group, Skydio, Yuneec Holdong stb. [4].

A kereskedelmi drónok között, kialakításukat tekintve megkülönböztetünk merevszárnyas, forgószárnyas, és az előző kettő kombinációját képviselő hibrid drónokat. A 2. ábra adatai alapján látható, hogy a legnagyobb kereslet a forgószárnyas kialakítású drónok iránt mutatkozik.



2. ábra Kereskedelmi drónok iránti igények piaci előrejelzése 2022-2030

(készítette a szerző a [5] alapján)

A forgószárnyas kialakítású drónok a legtöbb esetben a legkézenfekvőbb megoldás alkalmazni őket. Az általában négy-, hat-, vagy akár nyolc meghajtással rendelkező légi eszközök gyorsan készre szerelhetők ezáltal gyorsan üzembehelyezhetők, így hatékonyan alkalmazhatók szinte bármilyen területen.

Drónok alkalmazása igen szerteágazó és kijelenthető, hogy az élet szinte minden területén alkalmazzák őket, ezáltal bárhol találkozhatunk velük. Általánosságban alkalmazásukat tekintve az alábbi feladatokra használhatjuk őket:

- Légifelvétel (kép és videó) készítés
- Térképezés, felmérés
- Környezet monitorozása, környezetvédelem
- Mezőgazdaság és precíziós gazdálkodás
- Infrastruktúra ellenőrzése, karbantartása
- Rendészet és közbiztonság
- Kutatás-mentés
- Katasztrófavédelem
- Termék kiszállítása, teherszállítás stb.

A nagy felbontású optikai kamerákkal felszerelt drónok egyedi perspektívákból képesek *felvételeket* (fotókat és videókat) *készíteni*, mely mind a hobbi felhasználók, mind a filmgyártás számára előnyösek.

A dróntechnológia forradalmasította a *térképészeti és felmérési ágazatot*, gyorsabb, pontosabb és költséghatékonyabb alternatívát kínálva a hagyományos módszerekkel szemben.

A drónok kulcsfontosságú eszközzé váltak a *környezeti megfigyelés és természetvédelmi törekvések* terén, mivel értékes adatokat és elemzéseket biztosítanak a fenntartható erőforrás-gazdálkodás megteremtésében. Mivel képesek nehezen megközelíthető területekre is eljutni és akár valós idejű adatokat rögzíteni, ennek okán lehetővé teszik az ökoszisztémák állapotának folyamatos nyomon követését, a vadon élő állatok populációinak megfigyelését, valamint az emberi tevékenységek a környezetünkre gyakorolt hatását figyelemmel kísérni.

Napjaikban egyre nagyobb szerepet kapnak a drónok a *mezőgazdaságban és precíziós gazdálkodásban*. Alkalmazásuk hatékony képes javítani a termés hozamot, hatékonyan pótolható velük a növények számára nélkülözhetetlen különféle tápanyagok. Redukálható, illetve optimalizálható a termelők kiadása. Végül de nem utolsósorban pedig csökkenthető a mezőgazdasági gépek (pl.: traktorok, arató és vető gépek) által kibocsájtott karbonlábnyom, mivel ezek az eszközök elsősorban elektromos energiával működnek, így közvetlen nem szennyezik a környezetüket.

Az energiaszektorban szintén közkedvelt alkalmazási mód a különféle energiatermelő rendszerek táv-és csővezetékeinek a levegőből történő megfigyelése.

A bűnüldöző szervek egyre innovatív módon alkalmazzák ezen eszközöket így velük szemben a *rendvédelmi erőknél* is hatékonyan fel kell tudni lépniük. Ennek okán ők is hatékonyan képesek alkalmazni a drónokat a rendvédelemben, továbbá a *közbiztonság* területén a személyi és anyagi javak védelmének érdekében.

Manapság a *katasztrófavédelem* területén természeti károk megelőzésében, vagy azok felszámolásában is egyre inkább használt megoldásnak bizonyulnak a drónok használata [6].

Számos alkalmazás között a drónokat eltűnt vagy bajba esett emberek felkutatására és mentésére is használják. Ilyen esetekhez DJI drónokkal több mint 600 eseményt regisztráltak, majd több mint 1000 embert mentettek meg a világ több mint 40 országában. Az ilyen esetek közé tartozik például eltűnt emberek felkutatása, továbbá csapdába esett emberek mentése [7].

Az Európai Bizottság egy korábbi 2016-os közleménye szerint az európai „drónszektor” 20 éven belül hozzávetőlegesen 100 000 embert fog foglalkoztatni ezen a területen. A Bizottság

2014-ben ismertetett egy stratégiai programot, amelyet a későbbiekben 2018-ig még négy alkalommal frissített. 2019-ben elkészült az EU-s drónokra vonatkozó egységes jogszabályi keretrendszer, amely leváltotta a tagállamok nemzeti jogszabályait, és egyben megteremtette a különböző drónszolgáltatások európai piacát [8].

Jelen kutatás az alábbi kérdésekre keresi a választ:

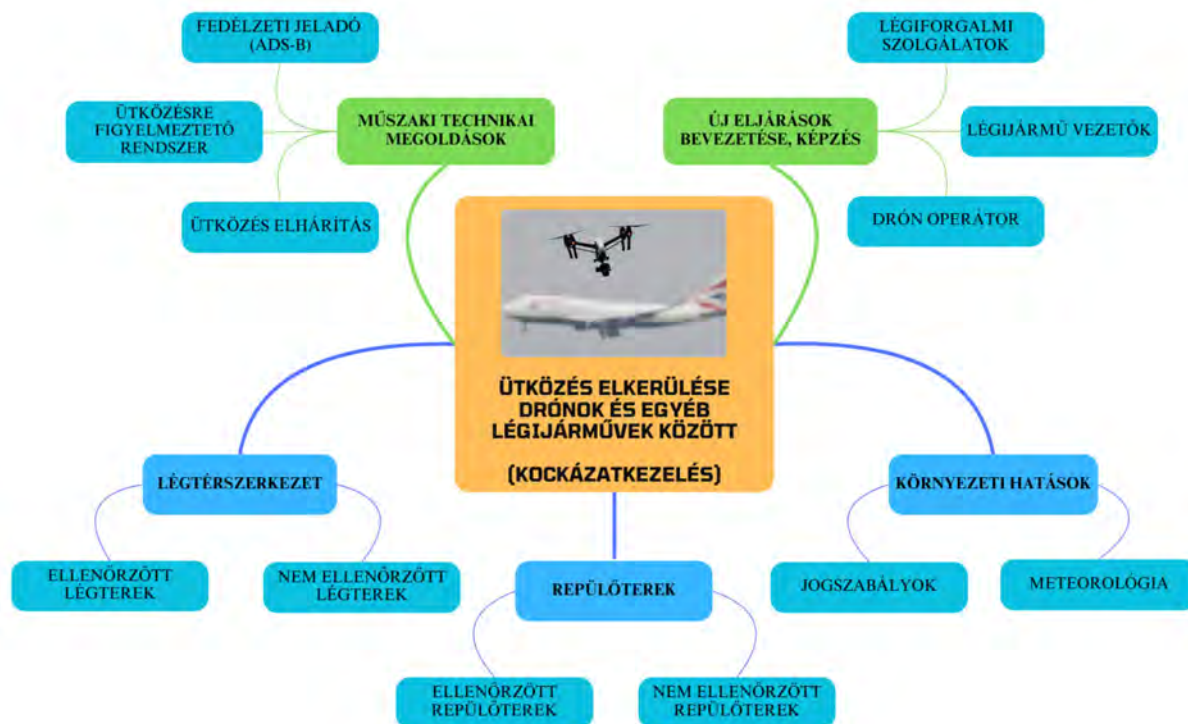
- Valós fenyegetést jelentenek-e a drónok a légiközlekedésben résztvevő más légi járművekre?
- Megjelenésüknek milyen lehetséges következményei lehetnek a repülési környezetben?
- Milyen kockázatokat, illetve milyen következményeket eredményezhet, ha egy drón megközelít egy másik repülőgépet veszélyeztetve ezáltal a repülés biztonságát?
- Alkalmazásuk milyen magasságokon a leggyakoribb?
- Milyen gyakorisággal történtek olyan esetek, amikor egy drón megközelített egy hagyományos légi járművet, vagy akár összeütközött vele?
- Milyen eljárásokkal és/vagy műszaki megoldásokkal lehet csökkenteni, illetve elkerülni a drónok egymással, vagy másik légi járművel történő összeütközését?
- Milyen módon és milyen hatékonysággal lehet drónokat detektálni?
- Milyen műszaki, technikai megoldások alkalmazásával lehetne megvalósítani biztonságos integrálásukat a hagyományos légiközlekedés rendszerébe?

A tudományos probléma megfogalmazása

Napjainkban egyre nagyobb igény mutatkozik a pilóta nélküli légi járművek – közismertebb nevükön drónok – alkalmazására mind állami, mind polgári célú felhasználásban. Napjainkban egyre fokozottabb igény jelentkezik pilóta nélküli légi járművek, közismertebb nevükön drónok alkalmazására úgy állami, mint a polgári célú felhasználásban. Az ipar szinte minden területén megtalálhatók, ami a bennük rejlő hatalmas potenciálnak és széleskörű felhasználhatóságuknak köszönhető – ezek teszik lehetővé alkalmazásukat az élet számos területén. Jelentős kereslet mutatkozik irántuk az ipari, a mezőgazdasági és a logisztikai szektorban egyaránt.

Ezzel együtt növekvő számuk komoly veszélyforrásnak tekinthető, amennyiben nem az előírásoknak megfelelően használják őket. A kutatás során elsősorban a drónok megjelenésének gyakoriságát kiváltó okokra, valamint az ebből fakadó következmények feltárására és elemzésére koncentrálok.

A probléma felvetésemet és az azzal kapcsolatban álló különböző tényezők egymáshoz viszonyított kapcsolatát a 3. ábra látható fogalomtérképpel kívánom szemléltetni.



3. ábra Fogalomtérkép
(készítette a szerző)

A fogalomtérkép felvázolja, szemlélteti azokat a tényezőket, elemeket, fogalmakat, amelyek a téma problémafelvetésekor felmerültek. A középpontban foglal helyet az a problémás terület, amelyet a kutatásom során vizsgállok és ajánlásokat keresek annak megoldására. A megoldandó problémát körbe veszik azok a területek, amikkel közvetlenül vagy közvetve kapcsolatban van vele. Továbbá az ábra szemlélteti a hagyományos légi járművek és pilóta nélküli légi járművek környezetét (légtérszerkezetet, különféle környezeti hatásokat), ezen túlmenően a megoldást elősegítő lehetséges műszaki megoldásokat és új eljárások bevezetésének a lehetőségét. Ezek együttes értelmezése kapcsán kialakultak a témával kapcsolatos előfeltevéseim. Továbbá, ennek alapján megkezdtem a kutatásom előzetes tervezését, amelyhez kutatási célokat fogalmaztam meg.

Kutatási célkitűzések

A tudományos probléma megoldása érdekében kutatásom során az alábbiakat határozom meg a pilóta nélküli légi járművek biztonságos üzemeltetésével kapcsolatban:

- Vizsgálom a pilóta nélküli és a hagyományos légi járművek felépítését, azok anyagfajtáit és gyártástechnológiáját.
- Megvizsgálom, milyen műszaki megoldásokkal lehet érzékelni és nyomon követni a pilóta nélküli légi járműveket, ezáltal a drónok láthatóbbá válnának a levegőben, ami elősegítené az esetleges összeütközések elkerülését.
- Elemzem a drónok a közvetlen környezetükre való hatásait, repülésbiztonságra ható kockázatait.
- Hazai és külföldi esettanulmányokat elemzek annak érdekében, hogy a kutatásom folyamán felállított hipotéziseimet igazolni tudjam.
- Elemzem drón incidensek előfordulásának a gyakoriságát a világ több pontján.
- Megvizsgálom, hogy milyen műszaki megoldásokkal lennének képesek pilóta nélküli légi járművek érzékelésére és nyomon követésére, amik használatával láthatóbbak lennének az égbolton, elősegítve ezzel az esetleges összeütközések elkerülését.
- Megvizsgálom, milyen fénytechnikai rendszerekkel rendelkeznek a drónok.

Kutatási hipotéziseim

Feltételezem, hogy a drónok váratlan megjelenése komoly veszélyforrást jelenthet a közös repülési környezetben.

- Feltételezem, hogy a pilóta nélküli légi járműveken elhelyezett, vagy utólagosan felhelyezhető összeütközést gátló fénytechnikai megoldások javítják a drónok láthatóságát, ezáltal csökkentve a lehetséges ütközéseknek a valószínűségét.
- Feltételezem, hogy az OGN jeladók, vagy egyéb más nyomon követésre alkalmas jeladók a drónok fedélzeten történő alkalmazásakor hatékonyan hozzájárul a pilóta nélküli légi járművek és más légi járművek összeütközési kockázatának csökkentéséhez.
- Feltételezem, hogy a drónok fedélzetén elhelyezett nyomon követésre alkalmas jeladók használata elősegíti a közös légtérben való alkalmazás – vagyis a hagyományos és pilóta nélküli légi járművek ugyanazon légtérben történő üzemelésének – hatékony megvalósítását.

Kutatási módszerek

A kutatásom során az alábbi módszereket alkalmaztam:

- Az elméleti tudásanyag feldolgozása, amely releváns tudományos publikációk és szakirodalmak tanulmányozásával történt;

- Esettanulmányok vizsgálata és elemzése;
- A világ különböző pontjain bekövetkezett drón-incidensek statisztikai adatainak elemzése, az adatok feldolgozása és következtetések levonása;
- A drónok észlelését támogató műszaki rendszerek elemzése és megfelelőségük vizsgálata;
- Valós drónrepülésekhez szükséges tesztkörnyezet kialakítása, mérések végrehajtása;
- A kutatás során elért primer eredmények értékelése és azok publikálása.

Szakirodalmi áttekintés

Doktoranduszi tanulmányaim kezdetén végzett szakirodalmi kutatásaim során azt tapasztaltam, hogy a pilóta nélküli légijárművek témakörét feldolgozó, magyar nyelven elérhető könyvek száma rendkívül korlátozott. Jelentős kivételt képezett azonban a Békési Bertold, Bottyán Zsolt, Dunai Pál, Halászné Tóth Alexandra, Makkay Imre, Palik Mátyás, Restás Ágoston és Wühl Tibor szerzőségével megjelent *Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek* című kötet. Ez a mintegy 300 oldalas mű átfogóan tárgyalja azokat az alapvető ismereteket, amelyeket a szakterület megértése szempontjából nélkülözhetetlennek ítélek [9].

A pilóta nélküli légijárművek mélyebb megismeréséhez nélkülözhetetlen az olyan, nemzetközi szinten is meghatározó alpművek megismerése, mint a Kimon P. Valavanis és George J. Vachtsevanos által jegyzett *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*. Ez a kiadvány a kulcsfogalmak, a szakterminológia és a rövidítések ismertetését követően bemutatja a drónok főbb konstrukciós típusait, felépítésüket, továbbá a különböző szempontok szerinti osztályozásukat [10].

A pilóta nélküli légijárművek és rendszerek (UAV²/UAS³) témakörének további alapvető szakirodalmi forrása Richard K. Barnhart, Stephen B. Hottman, Douglas M. Marshall és Eric Shappee *Introduction To Unmanned Aircraft Systems* című munkája. Ez a kötet a történeti áttekintést követően részletesen elemzi az UAS felépítését, bemutatva a földi és légi rendszerszegmensek komponenseit [11].

A napjaink dróntechnológiáit, azok jövőbeli fejlődési irányait és gyakorlati alkalmazási lehetőségeit tekinti át Sachi Nandan Mohanty, JVR Ravindra, G. Surya Narayana, Chinmaya Ranjan

² Unmanned Aerial Vehicle: Pilóta nélküli légijármű

³ Unmanned Aircraft Systems: Pilóta nélküli légijármű rendszerek

Pattnaik és Y. Mohamed Sirajudeen *Drone Technology Future Trends and Practical Applications* című könyve. A kiadvány többek között kitér a drónok fel- és leszállás szerinti osztályozására, valamint a különböző meghajtási rendszerek típusaira és jellemzőire [12].

A légterek, mint a polgári és katonai légiforgalom alapvető színterei, kulcsfontosságúak a repülésben. A légtérhasználat és -irányítás alapjainak megértését segíti elő Bottyán Zsolt, Palik Mátyás és Vas Tímea *A repülésirányítás alapjai* című műve [13].

Publikációk

A polgári és katonai repülőterek tervezési elveit és kritikus infrastruktúráját illetően Szabó Sándor és Tóth Rudolf *Repülőterek kialakítása, létesítményeinek kritikus elemei, védelmük lehetséges műszaki megoldásai* című közleménye nyújt alapvető ismereteket. A szerzők részletesen bemutatják a repülőterek általános felépítését, főbb funkcionális területeinek elrendezését és rendeltetését. A publikáció kitér a polgári és katonai repülőterek közötti specifikus különbségekre is [14].

A pilóta nélküli járművek (földi, vízi és légi) osztályozásában, valamint a kapcsolódó rövidítések és fogalmak értelmezésében nyújt iránymutatást Palik Mátyás és Rohács József *UAV, UAS, RPA⁴, drón, robotrepülőgép - új technológiák alkalmazása* című tudományos publikációja. Ez a munka segít eligazodni a szakterület komplex terminológiájában [15].

A repülésbiztonság magyar nyelvű szakirodalmában kiemelkedő jelentőségűek Dudás Zoltán publikációi. Ezek közül három érdemel külön említést:

1. *A Repülésbiztonsági veszélyek és kockázatok* című művében a szerző ismerteti a főbb kockázattípusokat és kitér a repülésbiztonságot befolyásoló tényezőkre.
2. Másik jelentős munkája, a *Repülésbiztonsági kockázat, repülésbiztonsági felelősség*, a kockázat fogalmi alapjainak tárgyalását követően bemutatja a repülésbiztonságban alkalmazott Reason-modellt.
3. Harmadik releváns publikációjában, *A leggyakoribb hibák a légi közlekedésben* címűben, az emberi tényező repülésben betöltött szerepét elemzi, ennek keretében pedig részletesen tárgyalja a SHELL-modellt [16][17][18].

A repülésbiztonság alapvető eleme a „látni és látszani” elv, amely mind a kisgépes (általános célú), mind a nagygépes (kereskedelmi) repülésre érvényes. Ebből következően a pilóta nélküli

⁴ RPA - Remotely Piloted Aircraft - távirányítású légi jármű

légijárművek számára is követelmény a repülés közbeni láthatóság biztosítása. Ennek megvalósítási lehetőségeit, különös tekintettel az ütközések elkerülésére, Makkay Imre részletezi *Ütközések elkerülése a kisépés és a pilóta nélküli repülésben* című tudományos közleményében [19].

Az előzőekben tárgyalt ütközésselkerülési tematikához szorosan kapcsolódik Makkay Imre *Másodlagos információforrások a légtérben* című publikációja. Ebben a munkában a szerző azokat a másodlagos adatokat szolgáltató rendszereket mutatja be, amelyek alkalmazása hozzájárul a légijárművek közötti összeütközés kockázatának minimalizálásához [20].

Pilóta nélküli légijárművek látótávolságon belüli üzemeltetésekor a kulcsszó többek között a látótávolságra helyeződik, hiszen alapvetően drónok méretétől függően, különböző távolságokra tudnak eltávolodni a drónok felhasználóitól. Ennek részleteit fejt ki Sándor Zsolt a *Pilóta nélküli légi járművek látótávolságon belüli és azon túli üzemeltetésének kihívásai* című publikációjában [21].

Tanulmányok, jelentések

A pilóta nélküli légijárművek által képviselt veszélyforrások azonosítása és elemzése kulcsfontosságú repülésbiztonsági feladat. Az UAS üzemeltetése során felmerülő főbb kockázatok ismerete alapvető feltétele a biztonságos légtérhasználatnak. Ebbe a környezetbe illeszkedik a Vas Tímea vezette kutatócsoport *Előzetes megvalósíthatósági tanulmány HORUS VTOL⁵ UAS üzembeállítási koncepciója* című tanulmánya, amely – a megvalósíthatóság egyéb aspektusai mellett – kitér a HORUS VTOL UAS rendszer bevezetésével járó potenciális kockázatokra is [22].

Az ICAO⁶ Cir 328 AN/190 számú *Unmanned Aircraft System* című kiadvány célja, hogy elősegítse a pilóta nélküli légijárművek integrálását a hagyományos légiközlekedési rendszerbe [23].

Az ICAO *Remotely Piloted Aircraft system (RPAS⁷) Concept of Operations for International IFR Operations* című közleményében bemutatja a pilóta nélküli és a pilóta által vezetett légi járművek működési környezetét, vizsgálja a drónok integrálásának és a nemzetközi műszeres repülési szabályok (IFR⁸) szerinti üzemeltetéshez történő illeszthetőségét [24].

⁵ VTOL - Vertical Take-off and Landing - függőleges fel- és leszállás

⁶ International Civil Aviation Organisation - Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet

⁷ RPAS - Remotely Piloted Aircraft System - távirányítású légijármű rendszer

⁸ IFR - Instruments Flight Rules - műszeres repülési szabályok

A pilóta nélküli légijárművek repülőterek elleni védelme nélkülözhetetlen a biztonságos légi közlekedés fenntartásához. Az ICAO *Protection of Civil Aviation Infrastructure Against Unmanned Aircraft* című kiadványában erre hívja fel a figyelmet, melyben már említésre kerül az UTM⁹ alkalmazásának lehetősége [25].

Az EASA¹⁰ *Annual Safety Review 2024* című éves biztonsági felülvizsgálati kiadványa tartalmazza azoknak a baleseteknek, súlyos incidenseknek és repülőeseményeknek a feldolgozott eredményeit, melyek pilóta nélküli légijárművekhez köthetők. Az események osztályozása az ICAO balesetek jelentési rendszere alapján történt [26].

A magyarországi Drón Koalíció által elkészített Magyarország Drón Stratégiája 2023-2030 című tervezetében a drónok piaci felméréséről, alkalmazásuk, valamint elterjedésük hazai és nemzetközi trendjeiről olvashatunk. A különböző piaci elemzéseken kívül, képet kapunk a technológia iránti jelenlegi és jövőbeli növekvő igényeiről [1].

Rendeletek, jogszabályok

Az Európai Bizottság 2019/947 rendelete a pilóta nélküli légi járművekkel végzett műveletekre vonatkozó szabályokat és eljárásokat tartalmazza. Ezen belül osztályozza és részletesen taglalja azokat a műveleti kategóriákat (nyílt, speciális, engedélyköteles) amelyekben drónokkal repüléseket lehet végrehajtani. [46]

Az Európai Bizottság 2019/945 rendelete a pilóta nélküli légijármű-rendszerekről és a pilóta nélküli légijármű-rendszerek harmadik országbeli üzembentartóiról szóló jogszabály tartalmazza a drónok C-osztályú besorolására vonatkozó követelményeket és előírásokat [47].

A 38/2021. (II. 2.) a pilóta nélküli állami légijárművek repüléséről szóló kormányrendelet tartalmazza az állami területen, illetve állami tulajdonban lévő pilóta nélküli légijárművek alkalmazásairól szóló szabályokat, előírásokat [27].

Az Európai Bizottság 2021/664 végrehajtási rendelete a U-space szabályozási jogszabályi keretrendszeréről szól, melynek célja, hogy támogassa a nagyszámú drónműveletek biztonságos és hatékony alkalmazását [28].

⁹ UTM - UAS Traffic Management - pilóta nélküli légijárművek forgalomirányítási rendszere

¹⁰ EASA - European Union Aviation Safety Agency - Európai Repülésbiztonsági Ügynökség

Az értekezés felépítése

Az disszertáció tervezet **bevezető részében** bemutatom a pilóta nélküli légitárművek iránt nagymértékben növekvő keresletet, amelyet statisztikai adatokkal támasztok alá. Rövid áttekintést nyújtok a releváns alkalmazási területeikről. A jelen kutatás során felmerült, összetett kérdések megválaszolására a feldolgozott szakirodalomból levont következtetések és az elvégzett részleges kutatások eredményei alapján kerül sor a jelen értekezésben.

Az **első fejezet** A jelen kutatás során felmerült, összetett kérdések megválaszolására a feldolgozott szakirodalomból levont következtetések és az elvégzett részleges kutatások eredményei alapján kerül sor a jelen értekezésben. A fejezet további részében a pilóta nélküli légitárművek polgári és katonai szempontú besorolása kerül elemzésre, amelynek jelentősége van a szabályozási és alkalmazási környezet megfelelő értelmezésében, mind állami, mind kereskedelmi felhasználás esetén. A fejezet végén a légitárművek szerkezeti kialakításának, felépítésének és jellemző szerkezeti anyagszerkezet fajtáinak az ismertetése történik meg.

A **második** fejezet a hagyományos és a pilóta nélküli légitárművek un. operatív, működési környezetét vizsgálja. Bemutatásra kerülnek a polgári és katonai repülőterek, mint infrastruktúralis-elemek, a légtér szerkezetének felépítése, valamint az ezen légitárművekre és a légtérhasználatra vonatkozó alapvető repülési szabályok. A fejezet zárásaként a pilóta nélküli légitárművek üzemeltetési környezetének meteorológiai szempontú vizsgálatát végzem el.

A **harmadik** fejezet a repülésbiztonság történeti fejlődésének rövid áttekintésével kezdődik. Ezt követően részletesen foglalkozik a pilóta nélküli légitárművek elterjedésével összefüggő új veszélyforrásokkal. Bemutatja a légiközlekedési események vizsgálatában alkalmazott főbb módszereket, kiemelve azok relevanciáját és adaptálhatóságát a drónokkal kapcsolatos incidensek elemzéséhez. A fejezet konkrét esettanulmányokat is feldolgoz, továbbá elemzi a hazai és nemzetközi kontextusban előforduló drón incidensek jellemzőit, gyakoriságát és következményeit.

Az **negyedik** fejezet a drónok detektálására szolgáló műszaki megoldásokat tekinti át és ismerteti, figyelembe véve azok eltérő hatékonyságát. A fejezetben ismertetésre kerül egy, a drónok nyomon követésére alkalmas rendszer (Open Glider Network – OGN), részletezve annak alkalmazási lehetőségeit.

Az **ötödik** fejezetben ismertetésre kerül az a jogszabály környezet, amely tartalmazza a hagyományos-és pilóta nélküli légi járművek láthatóságára vonatkozó előírásokat. Továbbá bemutatásra kerül a szerző által kifejlesztett, ütközésselkerülést segítő LED villogó rendszer. A fejezet részletesen bemutatja és értékeli az elvégzett különböző mérések folyamán begyűjtött, majd feldolgozott mérési adatokat.

Köszönetnyilvánítás

Szeretném köszönetemet és hálámat kifejezni témavezetőimnek, Dr. Palik Mátyás ezredes, egyetemi docensnek és Dr. Dudás Zoltán alezredes, egyetemi docensnek, akik segítségével sikerült eljutnom oda, ahol most állok. Hálás vagyok a doktori tanulmányaim folyamán nyújtott szakmai, szellemi továbbá emberi támogatásukért.

Köszönettel tartozom kollégám Jámbor Krisztián mérnöktanárnak, aki magasszintű műszaki ismereteivel támogatta kutatásomat.

Végül de nem utolsó sorban szeretném megköszönni felségemnek Gajdács-Balog Ilonának a tanulmányaim folyamán tanúsított folyamatos és töretlen támogatását, hozzájárulva ezzel, hogy abszolváljam doktori tanulmányaimat.

1. PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰ, LÉGIJÁRMŰ RENDSZEREK

A drón szó – mint pilóta nélküli légijármű – eredete és fogalmi értelmezése: maga a kifejezés első írásos említése évszázadokkal ezelőttire nyúlik vissza. Legkorábbi feljegyzés a John Bullok által írt „*An English Expositor: Teaching the Interpretation of the Hardest Words Used in Our Language*” műben található, ami 1641-ben íródott. A műben a drón szó pontos megfogalmazása: „*An idle Bee that will not labour*”, ami szó szerinti fordításban azt jelenti, hogy „*egy tétlen méh, aki nem dolgozik*”. Majd a következő feljegyzés, amiben ismét megjelenik a „drone” szó az a John Kersey által írt „*Dictionarium Anglo-Britannicum*” (általános angol szótár), amely 1708-ban íródott. Ebben a műben a drón szót így értelmezi a szerző „*Drone, a kind of Fly or Wasp without a sting; also a slothful Fellow*” amely szó szerinti fordításban „*egyfajta légy vagy fullánk nélküli darázs; valamint egy lusta fickó*”. Később különböző művekben a drón szót további jelentésekkel is illették, például „*hím méhecske, lomha, tétlen*” (Noah Webster: *A Compendious Dictionary of the English Language*, 1806). A „drón” szó az 1900-as évek elején új jelentéssel bővült, kiegészítve a korábbi értelmezéseket. A *Webster's Sixth Collegiate Dictionary* szótári műben (1949) a „drone” szó már megjelenik a napjainkban is használt kifejezéssel hasonló értelmezésben, nevezetesen „*unmanned aircraft or ship guided by remote control*”, ami fordításban ezt jelenti „*távírányítóval irányított pilóta nélküli repülőgép vagy hajó*”. Érdekesség, hogy ebben a műben találunk értelmezést az „RPV”¹¹ mozaikszóra is, miszerint „*an unmanned aircraft flown by remote control and used esp. for reconnaissance*”, az alábbi fordítást adja: „*távírányítással működtetett pilóta nélküli légijármű, amelyet például felderítésre használnak*”. Így jutunk el a drón szó mai értelmezéséhez: a drón egy pilóta nélküli légijármű, és ebben a jelentésében az 1900-as évek közepe óta használatos [29][30][31].

A pilóta nélküli repülésre alkalmas szerkezetek első példái valójában sokkal régebben jelentek: már az ókori Kínában olajlámpákkal felszerelt papírballonokat bocsátottak a levegőbe az ellenség elrettentése céljából. Ezt követően 1483-ban Leonardo da Vinci megalkotott egy pilóta nélküli repülőeszközt, amely képes volt már függőleges mozgásra és lebegésre. Ennek a találmánynak két alapvető jelentősége volt: egyrészt az első vertikális repülésre alkalmas szerkezet volt, másrészt egyedi repülési tulajdonságai megalapozták a helikopterek fejlődését. Ebben az időszakban több a repülés megvalósításához köthető tanulmányt készített, többek között megtervezett és megalkotott egy olyan madárszerkezetet, amely a szárnyainak mozgásával

¹¹ RPV - Remotely Piloted Vehicle -UAV távirányítású jármű

volt képes repülni. A későbbiekben továbbra is foglalkoztatta a repülés szerelmeseit, hogy milyen szerkezet lenne képes a levegőben maradni, akár még pilóta nélkül is. Ahhoz, hogy ez megvalósulhasson először ki kellett fejleszteni olyan repülésre képes szerkezeteket, amik kezdetben pilótával a fedélzetükön később pedig nélkülük lennének képesek repülni [10][11].

Az első jegyzett pilóta nélküli légi jármű (UAV) háborús célú alkalmazása az osztrák csapatok Velence elleni ostromához köthető, ami 1849. augusztus 12-én kezdődött. Itt használtak először több mint kétszáz darab olyan légballont, amelyeknek a fedélzetén már megjelent a hasznos teher – azaz szállítandó tömeg – fogalma. Bombákat helyeztek fel a fedélzetre és szerették volna eljuttatni őket Velence fölé, majd ott ledobni a városra. A terv megvalósítása nem volt teljesen sikeres. Néhány ballont ugyan sikerült célba juttatni, de többségüket viaszosodorta a szél a szárazföld felé [32].

A IX. század vége felé is voltak olyan kísérleti próbálkozások, amikor is különféle kialakítású repülni képes szerkezeteket próbáltak a levegőbe juttatni és ott is tartani. Ebből az időszakból mindenképpen meg kell említeni Otto Lilienthalt, aki a német repüléstörténelem úttörőjeként vált ismertté. Ő készítette az első olyan vitorlázó szerkezeteket, amelyek nem csak a levegőben voltak képesek maradni, hanem emberi beavatkozással is irányíthatók voltak [10][11].

Az első távirányítható légi járművek az I. világháborút követően 1916-ban jelentek meg az Egyesült Államokban. A Hewitt-Sperry repülőgéppel – ismertebb nevén repülőbomba – 1912. szeptember 12-én sikeresen végrehajtották az első pilóta nélküli felszállást, amely demonstrálta, hogy van olyan repülőszerkezet, amely képes repülni pilóta nélkül is. A következő évben az amerikai hadsereg számára bemutatták a Kettering Bug néven ismertté vált légitorpedó-szerkezetet [32].

A pilóta nélküli légi járművek és légi jármű rendszerekkel megismerkedve elsőként érdemes tisztázni és értelmezni, hogy mit is értünk ezen kifejezések alatt. Ennek tisztázása megítélésem szerint azért fontos, mert a különböző nemzetközi szervezetek eltérő rövidítéseket használnak, ami gyakran okoz zavart értelmezésükkor a témával foglalkozók körében. Az eltérő terminológia pontos megértése kulcsfontosságú a téma megértéséhez.

A pilóta nélküli légi jármű (UAV) és a pilóta nélküli légi jármű rendszer (UAS) kifejezéseket megtaláljuk az amerikai Szövetségi Légügyi Hatóság FAA¹² írásos anyagaiban, de más rövidítésekkel is találkozhatunk, mint például a távirányítású jármű (RPV), amelyet kifejezést már a vietnámi háború idején is használtak [10].

Több nemzetközi szervezet, többek között a Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet (ICAO), az Európai Repülésbiztonsági Ügynökség (EASA), valamint a légiközlekedés biztonságért felelős európai szervezet, közismert nevén az EUROCONTROL javaslatára megjelent a távolról irányítható légi jármű vagy rendszer fogalma és annak rövidítése (RPA/RPAS). Az angolszász, főként az amerikai terminológia bevezette az UAS és az UA rövidítéseket [32].

E rövidítések vizsgálata során azt tapasztaltam, hogy olykor hibásan használjuk őket, mintha ugyanazt jelentenék – például gyakran egy kalap alá veszik a UAV és RPA fogalmakat. Főként akkor, amikor azt jelentjük ki, hogy mindkettőt lehet autonóm (önálló) módon, emberi beavatkozás nélkül üzemeltetni (későbbiekben fejtem ki). Ez utóbbi kijelentés azonban nem helytálló.

Az ICAO által kinyilatkoztatott dokumentumokban számos helyen kijelenti, hogy a távirányítható légi járművek (RPA) nem integrálódhatnak a polgári légiközlekedésbe. Alapvetően azért, mert mindenkor biztosítani kell az emberi beavatkozásnak a lehetőségét [23][24].

Hasonló véleményt fogalmazott meg az Ausztrál Polgári Légiközlekedésbiztonsági Hatóság is, aki szerint az RPA autonóm (önálló) üzemeltetése nem megengedett. Az automatizált rendszerek használata engedélyezett például előre megtervezett program szerinti útvonal repülés. Azonban ilyen úgynevezett magától automatikusan működő rendszerek esetében minden esetben biztosítani kell, hogy ezen rendszerek felülbírálhatók legyenek, be lehessen avatkozni, ezáltal az irányításukat át lehessen venni [33].

Összefoglalva, a két rövidítés közötti alapvető különbség az, hogy a RPA/RPAS kezelése kizárólag emberi beavatkozással lehetséges, míg az UA/UAS esetében az autonóm működés is lehetséges.

Az EASA definíciója szerint: „*olyan légi jármű, amely önállóan üzemel vagy amelyet úgy terveztek, hogy pilóta nélkül, távirányítással működjön*” [34]. Az FAA szerint a pilóta nélküli légi jármű csak egy része az UAS-nek [35]. A NASA¹³ megfogalmazása hasonló: a UAV csupán egy része egy komplexebb rendszernek, az úgynevezett UAS-nek [36].

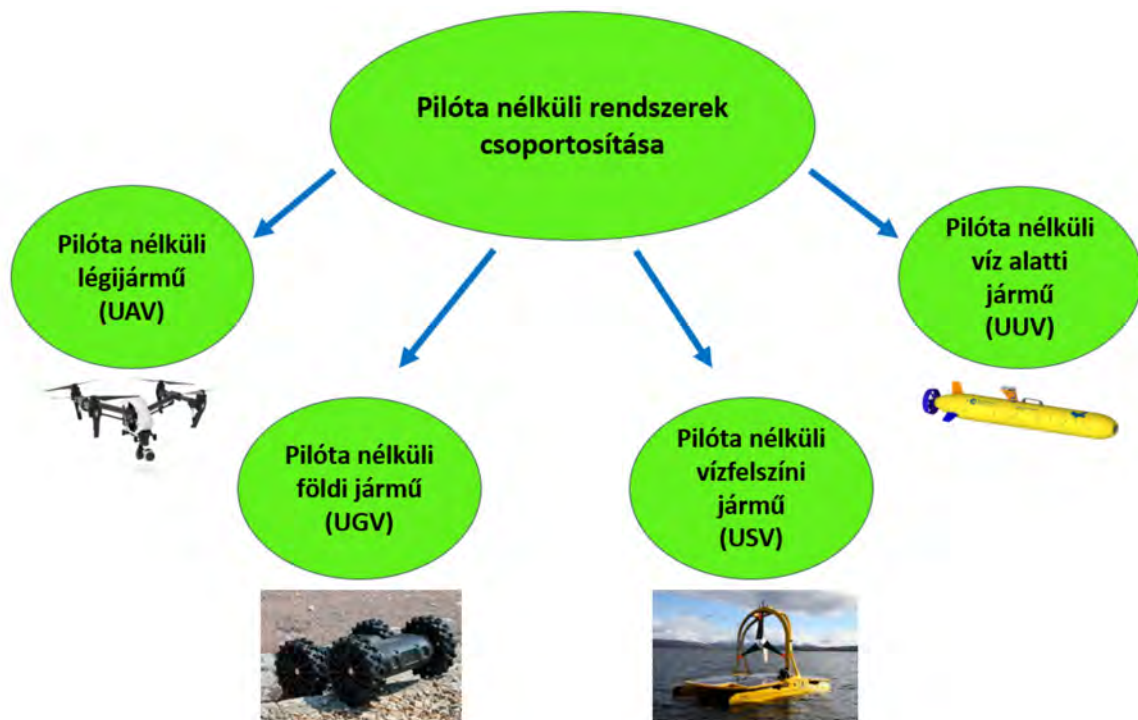
¹² FAA - Federal Aviation Administration – Szövetségi Légügyi Hivatal

¹³ NASA - National Aeronautics and Space Administration - Nemzeti Repülési és Űrhajózási Hivatal

Az elmúlt évtizedekben egymást követve megjelentek olyan rendszerek, amelyek nem igényelnek irányító személyt, vagy légi jármű vezetőt a fedélzeten. Ezeket szokták robotoknak is nevezni, amelyeket hatékonyan használnak különböző feladatokra, például katasztrófahelyzetek kezelésében.

A távolról irányítható légi járművekre szokták a korábban már említett RPA vagy RPV rövidítést is használni. Ez utóbbi rövidítés, fogalom alatt azonban nem csak a légi járműveket értjük, hanem a földi, vízfelszíni, illetve vízalatti járműveket is egyaránt. Azonban legfontosabb közös jellemzőjük az, hogy a fedélzetükön nincsen irányító-és kezelő személyzet [10][15].

A 4. ábra bemutatja a különböző pilóta nélküli távirányítású jármű rendszereket, amelyek különféle jármű kategóriába sorolhatók: légi, földi, vízi és vízfelszín alatti.



4. ábra Pilóta nélküli rendszerek csoportosítása
(készítette a szerző a [37] alapján)

Pilóta nélküli jármű rendszerek általános jellemzői:

- pilóta/kezelő személy nincs a fedélzetükön;
- széles körben alkalmazzák őket;
- szélsőséges körülmények között és különböző terepviszonyokon is hatékonyan alkalmazhatók;
- képesek manuális és autonóm irányítással is működni;

- veszélyes helyeken (pl. katasztrófa helyszínen) is biztonságosan alkalmazhatók ezek a járművek stb.

Pilóta nélküli rendszerek általános műszaki jellemzői:

- manuális irányítás esetén rádiófrekvenciás adatkapcsolat valósul meg;
- automatikus vagy autonóm üzemmódban előre felprogramozott útvonalat képes „lekövetni” a jármű;
- GNSS helymeghatározás alapján tájékozódik az eszköz;
- különböző szenzorok és elektronikai rendszerek alkalmazásával adatokat gyűjt a környezetében előforduló állapotokról és azok változásokról stb. [38]

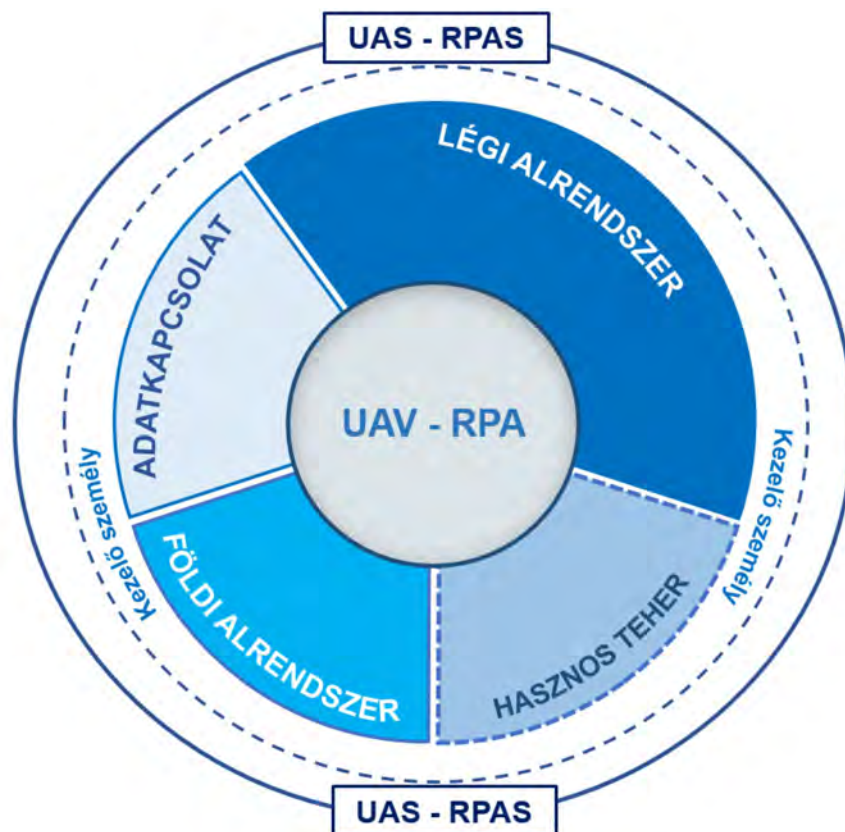
A „drón” kifejezés fogalmi körét vizsgálva megállapítható, hogy azt gyakran, bár nem kizárólagosan, a kereskedelembe elérhető pilóta nélküli légi járművekre alkalmazzák. Ezzel szemben az Egyesült Államok Szövetségi Légügyi Hivatala (FAA) szabályozási kontextusban 2016-ban bevezette az sUAS¹⁴ rövidítést. Ez a kategória azokat a pilóta nélküli légi jármű rendszereket jelöli, amelyekben maga a légi jármű 25 kg-nál (55 lb) kisebb maximális felszállótömegű [39].

Összefoglalóan megállapítható, hogy a pilóta nélküli légi jármű (UAV) definíció szerint olyan légi jármű, amely képes repülni emberi irányítással (távpilóta által), vagy akár képes automatikusan is feladatot végrehajtani – előre programozott repülési terv alapján – kizárva ezzel bizonyos mértékben az emberi beavatkozás szükségességét és mértékét. Lényeges különbséget tenni maga a légi jármű az UAV és a teljes pilóta nélküli légi jármű rendszer az UAS között. Az UAS vagy pilóta nélküli légi jármű rendszer több, mint maga csak a légi jármű. Magában foglalja az üzemeltetéshez szükséges egyéb kulcsfontosságú komponenseket is, mint például a földi irányítóállomást a GCS-t¹⁵, a kommunikációs adatkapcsolatot megvalósító rendszert, továbbá az indító- és leszállító rendszert.

A 5. ábra összefoglalja azokat az alapvető rendszer komponenseket, amelyek együttesen képezik a pilóta nélküli légi jármű rendszert (UAS; RPAS).

¹⁴ sUAS - small Unmanned Aircraft System - kis méretű pilóta nélküli légi jármű rendszer

¹⁵ GCS - Ground Control Station - földi irányító állomás



5. ábra Pilóta nélküli légijármű rendszer felépítése
(készítette a szerző [32] alapján)

A pilóta nélküli légijármű rendszer alapvetően három fő részből alrendszerből áll: légi alrendszer, földi alrendszer és a kettő között az irányítást és információcseréért felelős adatátviteli közeg az adatkapcsolat. Ehhez kapcsolódhat még az ún. hasznos teher vagy Payload, amely a meglévő fedélzeten elhelyezett alrendszereken túl magába foglalhat még különféle kiegészítő rendszer elemeket, komplett rendszereket, berendezéseket.

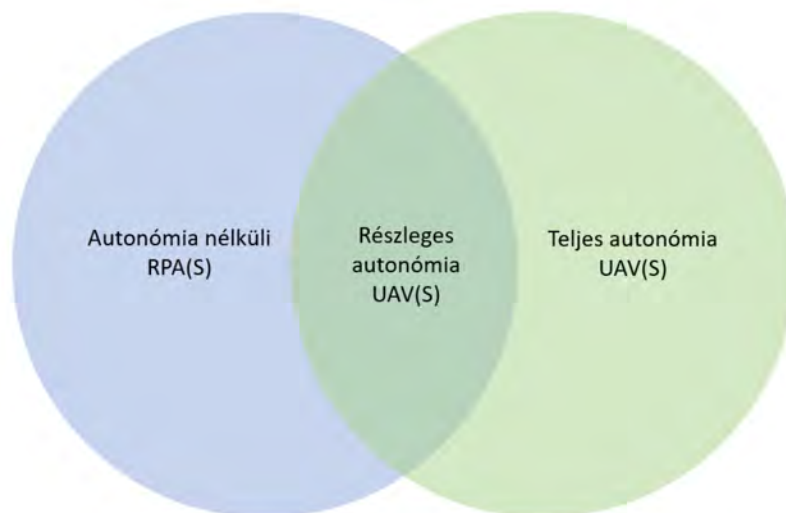
A rendszer(ek) aktuális működési állapotáról, paramétereiről és azok változásairól az operátor (távpilóta) jellemzően két fő módon kap visszajelzést: vagy egy távirányítóhoz csatlakoztatott okoseszköz kijelzőjén, vagy egy dedikált földi irányítóállomás (GCS) felhasználói interfészén keresztül.

1.1. Az autonómia értelmezése és szerepe a pilóta nélküli légijárműveknél

Drónokkal foglalkozva időnként szóba kerül az autonóm működés, ami alatt helyesen egy önálló, azaz emberi beavatkozást nem igénylő működést értünk. Azonban fontos tisztázni, hogy az autonómia mellett léteznek automatikus és automatizált rendszerek is, de mit is jelentenek ezek a fogalmak pontosan, illetve mi a különbség közöttük?

Az irányítástechnika területén megkülönböztetünk emberi beavatkozással végbemenő, azaz kézi irányítást és *önműködő* vagy *automatikus* irányítást. Ez utóbbi jellemzője, hogy az irányítás rész-műveletei emberi beavatkozás nélkül mennek végbe. Az automatizált rendszerek lényegében különböző műszaki folyamatok – például gépek és berendezések önálló működésének – összehangolását jelentik, amihez nem feltétlenül, vagy csak részben szükséges az emberi beavatkozás. Fontos leszögezni, hogy z ilyen rendszerek önállóan nem képesek döntéseket hozni [40].

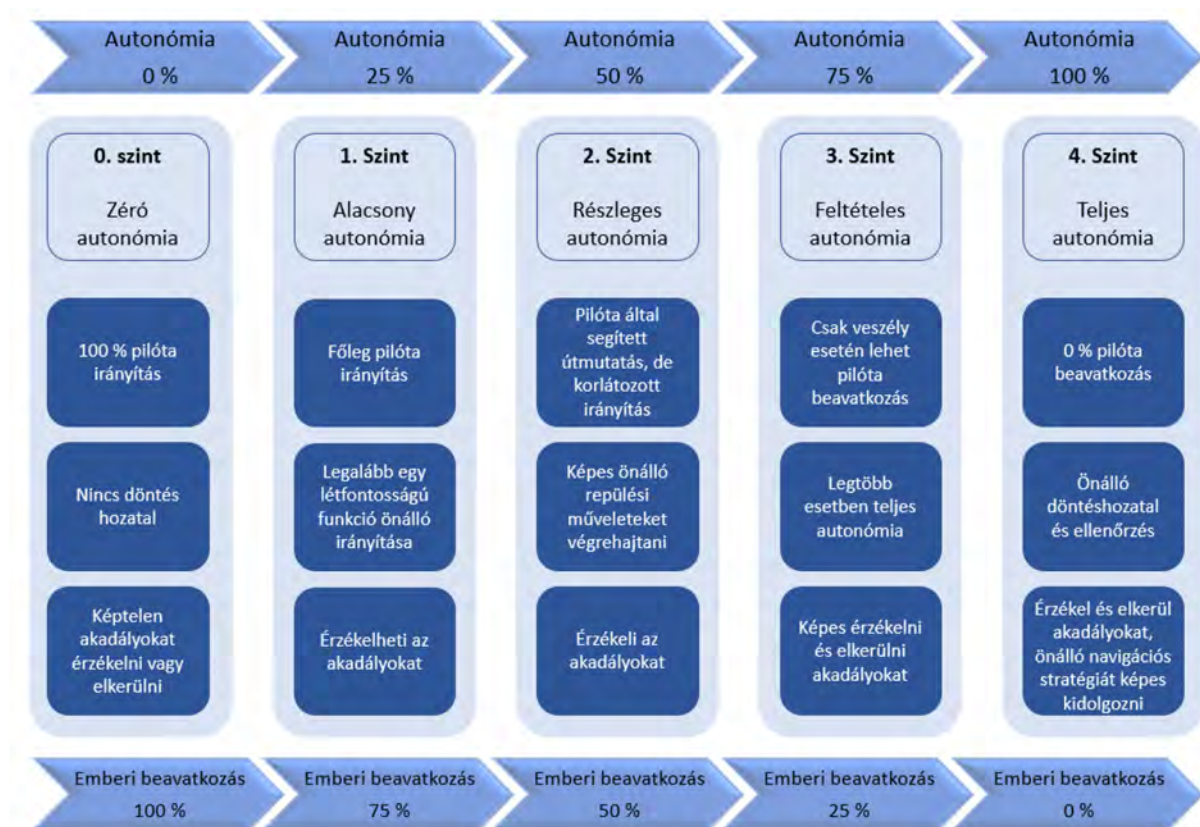
Autonóm működés esetén az ember akár 100%-ban is kizárható a folyamatból, és a rendszerek nemcsak összehangoltan képesek működni, hanem önálló döntéseket is képesek hozni. Az ilyen rendszerek ezáltal a váratlanul felmerülő helyzetekre, adott esetben veszélyekre is képesek reagálni önállóan, akár az emberi beavatkozás teljes kizárás. Az 6. ábra szemléltetni kívánja, hogy milyen típusú pilóta nélküli légijármű esetén beszélhetünk zéró, részleges vagy teljes autonómiáról.



6. ábra Pilóta nélküli légijárművek irányítás szerinti csoportosítása
(készítette a szerző a [12] alapján)

Ahogy korábban már ismertettem, a távirányítású légijárművek esetén a teljes autonómia nem megengedett. Mindazonáltal fontosnak tartom megjegyezni, hogy megvan a lehetőség és a technológiai háttér ahhoz, hogy bármilyen pilóta nélküli légijármű – beleértve az RPA-t és az UAV-t – részleges vagy teljes autonómiával működhessen. Az autonómiának különböző fokozatai léteznek, amelyeket az angol szakirodalmakban LOA¹⁶ néven említenek. A pilóta nélküli légijárművek esetén különböző szintű autonómiát különböztetünk meg (lásd az 7. ábra).

¹⁶ LOA - Level of Autonomy - autonómia szintjei



7. ábra Autonómia szintjei
(készítette a szerző a [12] alapján)

Az autonómia szintje alapvetően az emberi beavatkozás mértékétől függ. Minél nagyobb ennek a mértéke, annál kisebb autonómiáról beszélhetünk. Minél kevesebb emberi beavatkozás valósul meg egy pilóta nélküli légitármű üzemeltetésekor annál magasabb szintű autonómiáról beszélhetünk. Másképpen fogalmazva, a nulla szintű autonómia 100%-os emberi beavatkozás mellett valósul meg.

1.2. Pilóta nélküli légitárművek alkalmazásainak főbb területei, osztályozásuk

A pilóta nélküli légitárművek alkalmazása napjainkban szinte minden életterületen megfigyelhető. Használatuk rendkívül sokoldalú, így egyre szélesebb körben alkalmazzák őket.

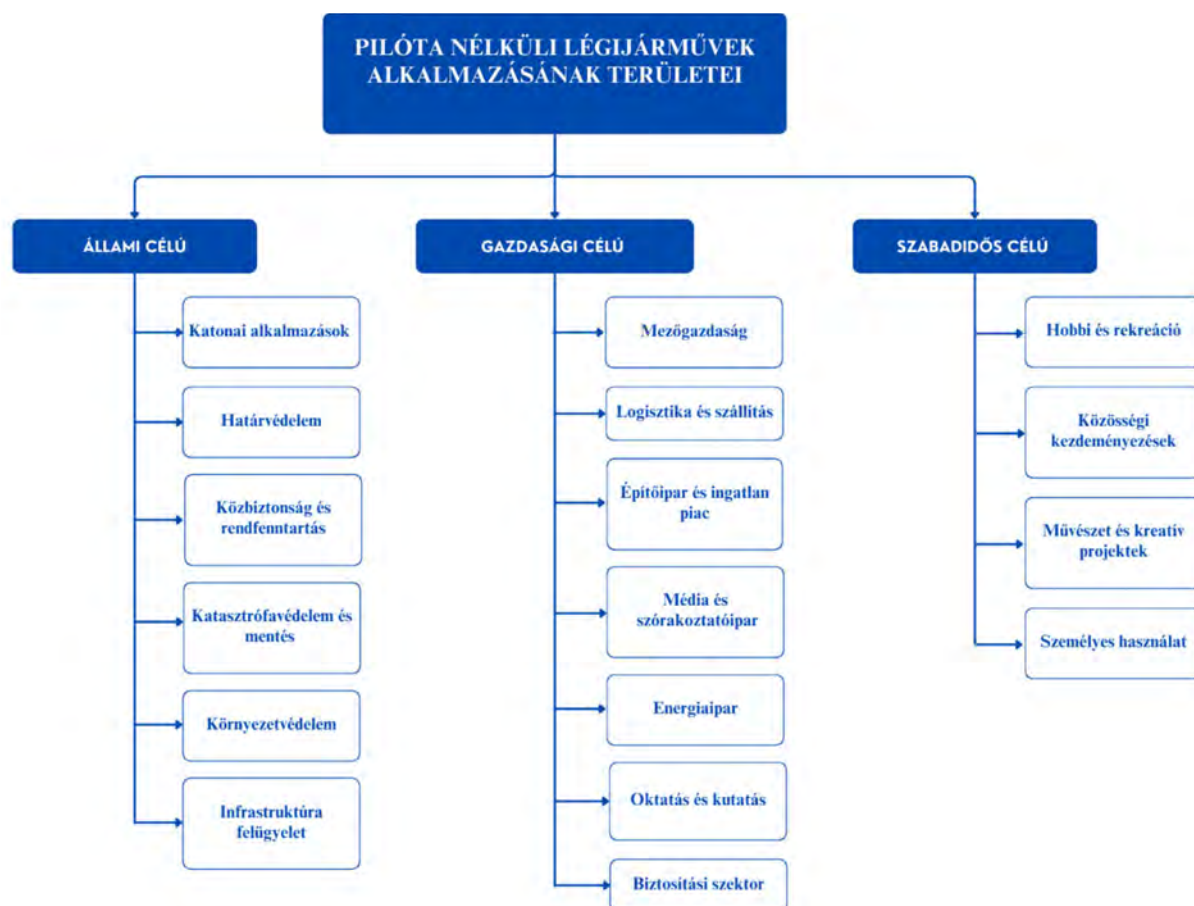
Alkalmazhatjuk őket egyéni, csoportos, szervezeti, kormányzati és gazdasági célokra. A hétköznapiakban egyre gyakrabban találkozhatunk velük nyílt és zárt rendezvényeken egyaránt. Emellett a drónreptetés egyre népszerűbb szabadidős tevékenységgé vált, nemcsak a fiatalok körében. A drónok számának növekedése mellett szintén emelkedő tendenciát mutat a pilóták-nak a száma és repüléseknek a száma, ezt szemlélteti a 8. ábra.

	Becsült érték 2021 (ezerdb)	Becsült érték 2024 (ezerdb)	Becsült érték 2030 (ezerdb)
 Drón	32.6	110.6	157.3
 Pilóta	31.0	105.1	118.0
 Repülés	118.9	1 047	1 416

8. ábra Drónok, drón pilóták és repülések számának előrejelzése [1]

Szabadidős felhasználásban a drónok száma évente átlagosan ~19%-kal, a pilótáké ~16%-kal, míg a repülések száma ~32%-kal növekszik. Ezzel párhuzamosan az ipari és kormányzati felhasználás elérheti az 50%-ot is [1].

Az állami, közszolgálati szervezetek feladatkörük hatékony ellátásához egyre nagyobb számban használják a pilóta nélküli légi járműveket. A drónok alkalmazási területeinek csoportosítását a 9. ábra foglalja össze.



9. ábra Pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának csoportosítása

(készítette a szerző)

A pilóta nélküli légi járművek állami célú alkalmazása széleskörűen elterjedt. A katasztrófavédelem területén a megelőzési fázisban hatékonyan alkalmazhatók különféle természeti katasztrófák (árvíz, földrengés, erdőtűz) esetén a veszélyeztetett területek légifelvételére és monitorozására. A katasztrófák bekövetkezését követően kritikus szerepet töltenek be a kutatási-mentési operációkban, különösen a túlélők felkutatásában. Emellett jelentős potenciállal rendelkeznek a káresemények komplex felmérésében.

A *közbiztonsági* szektorban a drónok alkalmazása magában foglalja a nagyszabású rendezvények légtérből történő megfigyelését, a bűnmegelőzési tevékenységeket, valamint az illegális cselekmények, mint például a csempészet, felderítését. A rendvédelmi szervek a bűnmegelőzés, a bűnüldözés és a közlekedésrendészeti feladatok ellátása során integrálják ezen eszközöket. Napjainkban az országhatárok légtérből történő megfigyelése és felügyelete kiemelt fontosságú az illegális határátlépések növekvő tendenciája miatt, mely feladatkörökben a drónok hatékonyan alkalmazhatók.

A *környezetvédelem* területén ezen eszközök kulcsszerepet játszanak a természet megfigyelésében, a környezetünkben keletkező változások monitorozásában például időjárás-előrejelzés, állatpopulációk és migrációs útvonalak nyomon követése).

A drónok katonai célú alkalmazása globálisan növekvő tendenciát mutat, elsősorban megfigyelési és felderítési feladatkörökben.

A pilóta nélküli légi járművek gazdasági célú felhasználása terén kiemelendő a precíziós mezőgazdaságban tapasztalható, fokozódó igény. A szélsőséges időjárási jelenségek és a klímaváltozás hatásai következtében innovatív módon alkalmazhatók növényállapot-felmérésre, permetezésre, talajanalízisre és a termés hozam optimalizálására. A logisztikai szektorban elsősorban a termékdistribúció területén nyer egyre nagyobb teret a dróntechnológia, beleértve különféle termékek és eszközök szállítását. Vállalati telephelyeken belül is hatékonyan alkalmazhatók például alkatrészek gyors, belső szállítására (például a Mercedes-Benz kecskeméti autógyárban). Az építőiparban intenzív a használatuk az építkezések előrehaladásának nyomon követésére és 3D-s modellezésre. A média- és szórakoztatóiparban reklámok, filmek és egyéb audiovizuális tartalmak előállításához használják őket. Az energiaszektorban a vezetékes- és csőhálózatok állapotának ellenőrzésére és karbantartására alkalmazhatók.

A drónok szabadidős célú felhasználása magában foglalja a hobbi és rekreációs tevékenységeket, mint az amatőr drónrepülés, légifényképezés és drónversenyek. Ugyanakkor a technológia gyors fejlődése és a drónok széleskörű elterjedése előtérbe helyezte a velük kapcsolatos oktatást, valamint kiemelt szerepet kaptak különböző kutatás-fejlesztési projekteken is. A mindennapi életben, így szabadtéri koncertek, fesztiválok és de már beltéri rendezvények biztosításában is növekvő számban alkalmazzák őket [41].

1.3. Pilóta nélküli légijárművek osztályozása

Pilóta nélküli légijárművek osztályozása többféle szempont szerint történhet. Ahogy az előző fejezet részben írtam megkülönböztethetjük őket állami-, gazdasági-, vagy egyéb célú felhasználás alapján. A katonai alkalmazásban a NATO osztályozási rendszert használjuk. Ezen kívül különböző szervezetek osztályozási rendszere eltérő, de jellemzően az alábbi tényezőket használják a csoportosításukhoz:

- a légijármű mérete;
- a légijármű kialakítása;
- légijármű maximális tömege;
- maximális repülési hatótávolsága;
- maximális repülési magassága stb.

A különböző osztályú UAV-k eltérő hasznos teher szállítására képesek. Ezek többek között lehetnek különböző szenzorok, kommunikációt támogató berendezések, elektrooptikai rendszerek, továbbá fegyverek- és fegyver rendszerek is stb.

1.3.1. Az UAS NATO szerinti osztályozása

A pilóta nélküli légijárművek és légijármű-rendszerek technológiai fejlődése a katonai területen a legjelentősebb. Ma már számos ország rendelkezik a katonai műveletek részét képező valamilyen pilóta nélküli légijármű rendszer képességgel. A felfegyverzett MALE¹⁷ típusú (NATO II. és III. osztályú) pilóta nélküli légijármű rendszerrel jelenleg 42 ország rendelkezik. Ezek közül az elmúlt 10 évben négy EU-s tagország is bővítette haderejét ilyen képességgel (1. táblázat).

¹⁷ MALE - MediumAltitude Long Endurance

Év	Megrendelő	Típus	Gyártó
2019-	Franciaország	MQ-9 Reaper	Amerikai Egyesült Államok
2023-	Hollandia	MQ-9 Reaper	Amerikai Egyesült Államok
2023-	Lengyelország	Bayraktar TB-2; MQ-9	Törökország, Amerikai Egyesült Államok
2023-	Spanyolország	MQ-9 Reaper	Amerikai Egyesült Államok

1. táblázat „MALE” pilóta nélküli légijármű rendszerekkel rendelkező országok
(készítette a szerző a [42] alapján)

A katonai műveletekben alkalmazott pilóta nélküli légijárművek jelentős mértékben eltérnek a kereskedelmi forgalomban elérhető típusoktól. Az egyik legmarkánsabb különbség abban ragadható meg, hogy a katonai célú rendszerek fegyverezettel is elláthatók, amely képessé teszi őket harci feladatok végrehajtására is.

Az alábbi 2. táblázatban az UAS NATO szerinti kategóriái láthatók.

UAS NATO osztályozása				
Osztály	Kategória	Maximális repülési magasság	Művelet fajtája, maximális hatótávolság	Típus
I. Osztály (< 150 kg)	Mikro (<66 J)	60,96 m	LOS/5 km	Black Widow
	Mini (<15 kg)	914,4 m	LOS/25 km	Skylark
	Kicsi (> 15 kg)	1524 m	LOS/50 km	Scan Eagle
II. Osztály (150-600 kg)	Taktikai	5486,4 m	LOS/200 km	Watchkeeper
III. Osztály (> 600 kg)	MALE	13716 m	BLOS/korlátlan	Heron
	HALE	19812 m	BLOS/korlátlan	Global Hawk
	Csapásmérő/Harci	19812 m	BLOS/korlátlan	Reaper

2. táblázat UAS NATO szerinti osztályozása
(készítette a szerző a [43] alapján)

A különféle szempontok szerinti osztályozásnál látható, a vizsgált típus kategóriája, annak tömege, maximális repülési magassága, továbbá a maximális hatótávolsága.

Általánosságban igaz, hogy minél nagyobb méretű egy légijármű, annál „szigorúbb” műszaki, jogszabályi, valamint repülésbiztonsági követelményeknek kell megfelelnie. Különösen igaz ez a katonai alkalmazású UAV-k-re. Egyes típusok (például Heron, Reaper, Global Hawk) alkalmazása, ezáltal üzemeltethetősége megköveteli a repülőtéri infrastruktúra használatát, az ahhoz kapcsolódó logisztikai háttértámogatás biztosítását. A nagy méretű rendszerek működtetéséhez, nagy számú, magasán kiképzett üzemeltető-, kezelő- és távpilóta személyzet szükséges, akik általában váltásos munkarendben látják el feladataikat [43].

1.3.2. Az UAV-UAS EU-s és nemzeti jogszabályok szerinti kategorizálása

A pilóta nélküli légijárművekre vonatkozó az Európai Unió által meghatározott jogszabályokat Magyarország is bevezette a jogrendszerébe. Ennek megfelelően két fő területre osztható:

- Pilóta nélküli állami légijárművekre vonatkozó jogszabályok;
- Pilóta nélküli légijárművekre vonatkozó „általános” jogszabályok.

Az Európai Bizottság külön definiálja és egyben elvárásokat fogalmaz meg mindkettőre vonatkozóan.

A pilóta nélküli légijárművek alapvető fogalmait és működtetésük szabályait a BIZOTTSÁG (EU) 2019/947., valamint a 2019/945. rendeletei tartalmazzák, amelyek a pilóta nélküli légi járművekkel végzett műveletekre és a vonatkozó szabályokra, eljárásokra vonatkoznak. A két rendelet 2021. február 10.-én léptek hatályba Magyarországon.

Ezt megelőzően is volt szabályozás drónokra vonatkozóan, azonban szükségessé vált, hogy EU-s szinten is egységesítve és szabályozva legyenek. Magyarországon, a légiközlekedésről szóló 1995. évi XCVII. törvény szabályozza a polgári légiközlekedés jogi kereteit, amely 1996. július 01.-én lépett hatályba. Ez a törvény határozza meg a légi közlekedéssel kapcsolatos tevékenységek végzésének alapvető szabályait, a légijárművek használatára, a légiközlekedési hatóságokra, a légiközlekedés biztonságára és a légiforgalmi szolgáltatásokra vonatkozó előírásokat. A pilóta nélküli légijárművek a 2021-es évet megelőző időszakban kizárólag csak eseti légtérben repülhettek. Az ehhez szükséges eseti légtérengedélyt – a légtérigénybevétel előtt 30 nappal lehetett kérelmezni – a Honvédelmi Minisztérium adta ki a 392/2016. (XII. 5.) Korm. rendeletben foglaltak szerint.

Azonban a drónokra vonatkozó szabályozás, továbbá a légügyi törvényben való megjelenése a 2009. évi módosításnak köszönhetően valósult meg, azonban nem teljes sikerrel. Számos rész, például a drónokra vonatkozó kategória rendszer ebben a szabályozásban még nem volt érintve, ezáltal nem került szabályozásra. Erre kívánt megoldást nyújtani a 945/947-es EU rendeletek Magyarországon és az EU többi tagállamaiban történő hatályba lépése. Ezt követően a drónok kategorizálását és felhasználásukat tekintve egy ún. átmeneti időszak következett 2021. február 10. és 2023. év végéig. Majd 2024. január 01-től érvénybe lépett a pilóta nélküli légi járművek „C minősítésű” osztályozási rendszere. Ebben az osztályozási rendszerben említésre kerül egy ún. ’játék’ kategória. Ebbe a kategóriába tartoznak azok a pilóta nélküli légi járművek, melyek maximális felszálló tömege 120 gramm alatt van, adatrögzítővel fel nem szerelt és maximum 100 méterre képes eltávolodni. Itt nincs szükség a drón és az üzemeltető nyilvántartásba vételére, nem kell vizsgázni és eseti légteret sem kell igényelni [44].

2024. január 1-et követően a jelenleg használatban lévő, osztálybesorolás nélküli légi járművek csak A1 és A3 alkategóriában repülhetnek majd A2-ben már nem.

A1 alkategóriában osztálybesorolás nélküli UA csak akkor végezhet műveletet, ha maximális felszállótömege 250 grammnál kisebb. A 250 grammos vagy annál nehezebb (de 25kg-nál könnyebb) UA-k átsorolnak az A3 alkategóriába.

2024. január 1. után ahhoz, hogy meghatározható legyen, hogy egy drón melyik (A1, A2, A3) alkategóriába tartozik, tudni kell milyen osztály besorolású C0, C1, C2, vagy C4 (lásd 3. táblázat).

A jelenlegi hazai és az EU által meghatározott UA kategóriák:

I. Nyílt kategória

A1-A2-A3 alkategóriát foglal magában. Ebben a kategóriába tartozó drónoknak a működési kockázatuk alacsonynak tekinthető. Repülés megkezdése előtt nincs szükség engedélyre. Az alábbiaknak kell megfelelni a drónnak és üzemeltetőjének:

- UA maximális felszállótömegének (MTOM) 25 kg alattinak kell lennie;
- A2 alkategóriában lehet emberektől meghatározott biztonságos távolságra reptetni a drónt;
- nem reptethető a drón embertömegek fölött;
- maximum 120 méterre távolodhatunk el a földfelszín legközelebbi pontjától (kivéve akadály átrepülés esetében a jogszabályban meghatározott indokkal);

- a távpilótának a művelet teljes ideje alatt látnia kell a pilóta nélküli légi járművet (kivéve követési mód, és/vagy pilóta nélküli légijármű megfigyelő személy alkalmazása estében);
- nem szállíthat veszélyes árut és nem szórhat le semmilyen anyagot.

Drónok kategorizálása				Drón pilóta és eszközének kritériumai				
Drón osztályok	Drón max. tömeg	Drón kategória	Drón műveletek	Drón biztosítása	Drón regisztráció	Üzemeltető regisztráció	Távpilóta kompetencia	Alsó korhatár
C0	< 0,25 kg	Nyílt	A1/A3	Nem kötelező	Igen	Igen	A1/A3 vizsga (szükség esetén A2)	16
C1	< 0,9 kg	Nyílt	A1/A3	Igen	Igen	Igen	A1/A3 vizsga (szükség esetén A2)	16
C2	< 4 kg	Nyílt	A1/A2/A3	Igen	Igen	Igen	A1/A2/A3 vizsga	16
C3 C4	< 25 kg	Nyílt	A3	Igen	Igen	Igen	A1/A2/A3 vizsga	16

3. táblázat Pilóta nélküli légijárművek osztályozása
(készítette a szerző a [45][46] alapján)

II. Speciális kategória

Repülés előtt elengedhetetlen az illetékes nemzeti hatóság üzemeltetési engedélyének beszerzése. Ehhez a drón kezelőjének kockázatelemzést kell készítenie, amely meghatározza a drónok biztonságos üzemeltetéséhez szükséges követelményeket. A biztonsági kockázatelemzés pozitív elbírálás esetén általában közepes minősítést kap.

III. Engedélyköteles kategória

Mivel ebben a kategóriában történő feladat végrehajtás a legmagasabb biztonsági kockázattal rendelkezik, így mindig szükséges a drón kezelőjének és drónjának minősítése, illetve a távpilóta(k) engedélye.

2014-ben az Európai Bizottság elfogadott egy a jövőbe mutató hosszútávú stratégiát, nevezetesen egy felhasználóbarát drón ökoszisztéma rendszer kialakítását. A folyamatosan növekvő számú drónos műveletek miatt elindult egy koncepció, miszerint szükséges létrehozni egy pilóta nélküli légijármű forgalomirányítási rendszert (UTM). Ennek kapcsán az Európai Bizottság az EASA és a SESAR együttesen létrehozta egy U-légtér (U-space) nevű európai UTM koncepciót.

Az első szabályozó csomag 2021-ben lépett hatályba, ezzel megteremtve a drónok által nyújtható szolgáltatások európai piacát. Az U-légtérrel¹⁸ szóró rendelet¹⁸ megállapítja és egyben harmonizálja azokat a követelményeket, ami ahhoz szükséges, hogy biztonságosan működjenek egy légtérben a pilótával vezetett légi járművek a pilóta nélküli légi járművekkel egy időben, ezáltal csökkentve összeütközésüknek a valószínűségét. Továbbá elősegíti az összetettebb és nagyobb távolságú repülési feladatok végrehajtását [28][48].

Az állami pilóta nélküli légi jármű rendszerek esetében a 38/2021. kormányrendelet és a 38/2021. (II.2.) kormányrendelet szabályozza a „pilóta nélküli állami légi járművek repülésére” vonatkozó előírásokat. A rendelet a pilóta nélküli légi járműveket öt fő kategóriában különbözteti meg A, B, C, D, E (4. táblázat).

Kategória	Felszálló tömeg	Követelmények a légi járműre és kezelő személyére vonatkozólag	Iskola minimum követelmény	Egyéb képzettség
E	600 kg felett	1. Típusalkalmassági bizonyítvány 2. Szakszolgálati engedély 3. Állami légi jármű nyilvántartásba vételi bizonyítvány 4. Légi alkalmassági bizonyítvány 5. Repülésbiztonsági szervezet	Felsőfokú képesítés	-
D	150 kg - 600 kg	Ugyanaz, mint az „E” kategória	Felsőfokú képesítés	Angol nyelvű rádiótávbeszélő engedély
C	25 kg - 150 kg	1. Fel- és leszállás ellenőrzött repülőtérén (kivéve állami „C” kategóriás drón) 2. Kétirányú rádiókapcsolat biztosítása 3. Transzponder használata 4. Ütközés-figyelmeztető rendszer (ha ellenőrzött légtérben működik)	Középfokú képesítés	-
B1	4 kg - 25 kg	1. Üzembe tartói nyilatkozat 2. Üzembe tartói nyilvántartásba vétel	-	-
B2	4 kg - 25 kg	1. Üzembe tartói nyilatkozat 2. Üzembe tartói nyilvántartásba vétel 3. Típusalkalmassági bizonyítvány vagy EU-megfelelőségi nyilatkozat 4. Repülésbiztonsági szervezet 5. Kockázatelemzés	-	-
A1	4 kg és az alatt	1. Üzembe tartói nyilatkozat 2. Üzembe tartói nyilvántartásba vétel	Alapfokú képesítés	-
A2	4 kg és az alatt	1. Hatóság által jóváhagyott intézkedés 2. Üzembe tartói nyilvántartásba vétel 3. Repülésbiztonsági szervezet 4. Kockázatelemzés	Alapfokú képesítés	-

4. táblázat Pilóta nélküli állami légi járművekre vonatkozó jogszabályi követelmény (készítette a szerző a [27] alapján)

Az egyes kategóriák megkülönböztetése alapvetően négy szempont alapján valósul meg:

- a légi jármű maximális tömege;
- a kezelő személyzet és a légi járművekkel szemben támasztott követelmények;
- az egyes kategóriákhoz tartozó elvárt iskola végzettség;

¹⁸ U-space szabályozási keretéről szóló Európai Bizottságának 2021/664 végrehajtási rendelete, Magyarországon hatályba lépett: 2021. április 22.-én

- továbbá egyéb kompetenciák.

A szabályozás alapvető célja, hogy elsősorban a HM és BM alárendeltségeibe tartozó szervezetek számára megteremtse alkalmazhatóságuk lehetőségét [27].

1.4. Pilóta nélküli légi járművek, légi jármű rendszerek szerkezeti kialakítása, felépítése

A pilóta nélküli légi járművek szerkezeti felépítése, mérete, illetve tömege igen eltérő. A szerkezeti kialakítása alapvetően attól függ, hogy milyen célra szeretnénk használni, alkalmazni az eszközt. A pilóta nélküli légi járművek (drónok) osztályozása több szempont szerint történhet, a vizsgált aspektustól függően. Aerodinamikai kialakításuk alapján alapvetően megkülönböztetünk forgószárnyas és merevszárnyú típusokat. Léteznek továbbá hibrid konstrukciók is, amelyek e két alapvető kialakítás jellemzőit ötvözik, gyakran lehetővé téve a függőleges fel- és leszállást (VTOL). A különböző szerkezeti megoldások és fedélzeti rendszerek sokfélesége alapozza meg a drónok széles körű alkalmazhatóságát.

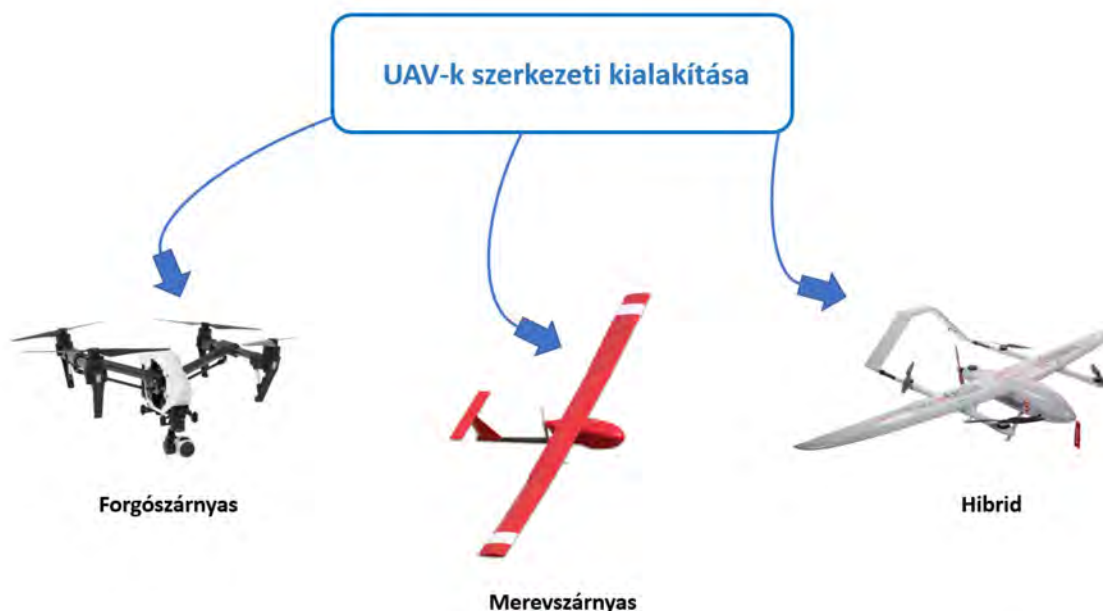
A XX. századi katonai fejlesztéseket követően a 2000-es évek elején megjelentek az első olyan polgári fejlesztések is, amelyek lehetővé tették a drónok polgári célú feladatokra történő alkalmazását, beleértve a hobby célú használatát is.

A kis méretű hobbi célú drónok megjelenése a 2003-ban megszületett Paparazzi UAV projekthez köthető. A projekt célja egy nyílt forráskódú repülésvezérlő rendszer létrehozása volt, amely programot napjainkban is fejlesztik. Ez mindenképpen mérföldkőnek tekinthető a drónok kialakulását tekintve. Pár évvel később az okostelefonok robbanásszerű elterjedése miatt a különféle érzékelők (gyorsulásmérők) és vezérlők ára elérhetővé vált, így lehetővé vált, hogy ilyen eszközöket sajátkezűleg is építsenek akár kevésbé hozzáértők is. Ezt támogatta az online webshopok megjelenése is, amelyeken keresztül gyakorlatilag bárholnan rendelhető drón alkatrész, ezt követően pedig építhetők. Ezen kívül megjelentek a piacon azok a nagy dróngyártók, akik tömeggyártással elérhetővé tették ezen eszközök gyors elterjedését.

A technológiai fejlődésnek köszönhetően egyre nagyobb mértékben jelentek meg a kereskedelmi drónok. Az irántuk jelentkező igényeknek a hatása folyamatosan, így napjainkban is érezhető. Egyre többen használnak ezeket hobbi vagy kereskedelmi felhasználásra [49].

Szerkezeti kialakításuk alapján a drónok három fő kategóriába sorolhatók: merevszárnyas, forgószárnyas és hibrid, amelyet a 10. ábra szemléltet. Meghajtások számát tekintve megkülön-

böztetünk egy rotoros-, több rotoros vagy multirotoros drónokat. Továbbá kialakításuktól függően megkülönböztetünk vízszintesen fel-és leszállásra (HTOL¹⁹) vagy függőleges fel-és leszállásra (VTOL) képes pilóta nélküli légijárműveket.



10. ábra UAV-k szerkezeti kialakítása
(készítette a szerző)

Természetesen kialakításukból és szerkezeti felépítésükből adódóan számos előnnyel és hátránnyal is bírnak.

A következő oldalon található 5. táblázat a drónok kiválasztását elősegítő pozitív és negatív jellemzőket foglalja össze. Drónok kialakításának vizsgálatakor az alábbi szempontokat vettem figyelembe, mint a tömeg, a hatótávolság, a meghajtás típusa, a szerkezeti kialakítás stb.

Méretük alapján a drónok néhány centiméteres eszközöktől akár több méteres szárnyfesztávú, törzshosszúságú vagy forgószárnyas kialakítású típusokig terjedhetnek, ahol a forgószárnyak hossza elérheti akár a több métert. Ennek megfelelően a hatótávolságuk is változó, ami 1-2 kilométertől akár több ezer kilométer távolságig is terjedhet. A hatótávolság azonban nemcsak a mérettől, hanem számos más tényezőtől is. A szerkezeti kialakítástól és meghajtó egységek számától és elhelyezkedésétől képesek függőlegesen (VTOL) és/vagy vízszintesen fel-és leszállni (HTOL), illetve akár mindkét módon is (lásd UAV-k szerkezeti kialakítása ábra).

Meghajtásuk szerint megkülönböztetünk:

- belső égésű motoros meghajtást (két ütemű vagy négy ütemű motorok, energiaforrás: benzin, dízel, metanol);

¹⁹ HTOL – Horizontal Take-off and Landing – vízszintesen fel-és leszállás

- elektromos meghajtást (szénkefés vagy szénkefe nélküli elektromos motorok, fordulatszám szabályozók, energiaforrás: akkumulátor).
- hibrid meghajtást (az előző kettő kombinációja) [41].

Drónok kialakítás szerinti kategorizálása	Előnyök	Hátrányok
Egy meghajtású forgószárnyas drónok	▪ VTOL - „HTOL” fel-és leszállás ▪ Nehezebb irányítás	▪ Korlátozottabb repülési idő ▪ Kisebb teher szállítás ▪ Kisebb sebesség
Több meghajtású forgószárnyas drónok	▪ VTOL fel-és leszállás ▪ Könnyebb irányítás ▪ Jó manőverezhetőség ▪ Üzemeltetése egyszerűbb ▪ Könnyen szállítható	▪ HTOL fel-és leszállásra nem képes ▪ Korlátozottabb repülési idő ▪ Kisebb teher szállítás ▪ Rövidebb repülési idő
Merevszárnyas drónok	▪ Hosszabb repülési idő ▪ Nehezebb irányítás ▪ Nagyobb teher szállítása ▪ Nagyobb repülési sebesség	▪ Csak HTOL fel-és leszállás ▪ VTOL fel-és leszállásra nem képes ▪ Fel-és leszálló hely mérete ▪ Speciális képzés megléte szükséges ▪ Irányításához gyakorlati jártasság szükséges ▪ Manőverezhetősége korlátozott ▪ Üzemeltetése bonyolult
Merevszárnyas hibrid VTOL drónok	▪ VTOL/HTOL fel-és leszállás ▪ Hosszú repülési idő ▪ Nagyobb sebesség ▪ Nagyobb teher szállítás ▪ Komplexebb alkalmazást tesz lehetővé	▪ Speciális képzés megléte szükséges ▪ Irányításához gyakorlati jártasság szükséges

5. táblázat Drónok kialakítás szerinti kategorizálása
(készítette a szerző a [50] alapján)

A XX. század elején a hagyományos repülőgépek vázszerkezete főként különböző faanyagokból készült. Elsősorban rétegelt falemezből, például nyírfából és balsafából állították elő, mivel ezek könnyűek, de megfelelő szilárdságúak voltak. Az ilyen favázis repülőgépek szövetborítással rendelkeztek, amely megfelelt a kor technológiai és anyaghasználati lehetőségeinek [51].

A „korai” pilóta nélküli légi járművek sárkányszerkezetében is megtalálható volt a balsafa, ilyen volt többek között az 1980-as évek végén az Amerikai Egyesült Államok Légierőjének hadrendjébe állított Pioneer RQ-2A UAV (lásd 11. ábra).



11. ábra Pioneer RQ-2A UAV
(forrás: [52])

Az üveg-és szén-szálas szárnyak belül balsafával voltak merevítve. Az amerikai csapatok egyik legsikeresebb UAV-ja volt [52], amely bevetésre került többek között az Öbölháborúban is 1991-ben, a Wisconsin csatahajóról.

A drónok vázszerkezetére vonatkozóan napjainkban számos megoldás létezik. A különböző kialakítások mellett párhuzamosan megjelentek új alapanyagok is. Elmondható, hogy ma gyakorlatilag bármilyen anyagból, illetve azok ötvözetéből készíthetők drón vázak és vázszerkezetek.

A korábban a gyártáshoz használt fa alapanyagok mellett megjelentek a különféle habosított szigetelőanyagok (például habszivacs, polisztirol), illetve a különböző anyagszerkezetű műanyagok. Később az üvegszálas és szén-szálas kompozit műanyagok terjedtek el. Az elmúlt két évtizedben egyre több új alapanyag jelent meg, amelyek részben vagy egészben a klasszikus anyagok mellett felhasználhatók légijárművek építéséhez.

Ehhez hozzájárultak az új gyártástechnológiák is, amelyek lehetővé teszik, hogy bármilyen alapanyagból készíthessünk drón vázszerkezetet, valamint egyéb rögzítő- és tartóelemeket.

Az alábbi 6. táblázat a repülőgép-iparban, ezen belül is a pilóta nélküli légijárművek gyártásához használt különféle alapanyagok csoportosítása látható.

Anyagok csoportosítása	Anyagok fajtái	Anyagok jellemzői
„Hagyományos” alapanyagok	- keményfák (balsafa) - habszivacsok - hungarocell szigetelő anyagok	- alacsony költség - nagy fáradási szilárdság, rezgéscsillapító hatás, költség hatékony felhasználás - bárki számára könnyen elérhető
Fém-és fémötvözet alapanyagok	- aluminium ötvözet Al-Cu, Al-Li és Al-Zn - magnézium ötvözet - titán ötvözet	- jó mechanikai tulajdonságok (kisebb tömeg, alacsony sűrűség), tömeghatékonyság - jó kémiai tulajdonságok (korrózióállóság, hőállóság)
Kompozit alapanyagok	különböző ötvözet anyagok szén-üveg szál: CFRP	kiváló mechanikai tulajdonság
3D nyomtatás alapanyagok	PLA, ABS, TPU, PETG, stb.	- anyag fajtától függő jellemzők: vízálló, ütésálló, jó mechanikai szilárdságú, tartós - költség hatékony anyagválasztás
Jövőbeni alapanyagok	SMA	- alak-és forma emlékező képesség - biológiai lebomló képesség

6. táblázat Pilóta nélküli légitárművek vázszerkezetének alapanyagai
(készítette a szerző a [53] alapján)

A fenti anyagokat széles körben alkalmazzák pilóta- és pilóta nélküli légitárművek vázszerkezetének és egyéb kiegészítő elemeinek, konzoljainak, különféle tartószerkezeteinek a gyártására. Az elmúlt évtizedben egyre népszerűbbé vált a 3D nyomtatás, különösen a hobbi- és ipari gyártók körében, mivel a különféle gyártástechnológiák lehetővé teszik, hogy szinte bármilyen anyagból és bármilyen méretben készíthessenek alkatrészeket.

1.5. 3D nyomtatás szerepe a pilóta nélküli légitárművek gyártását illetően

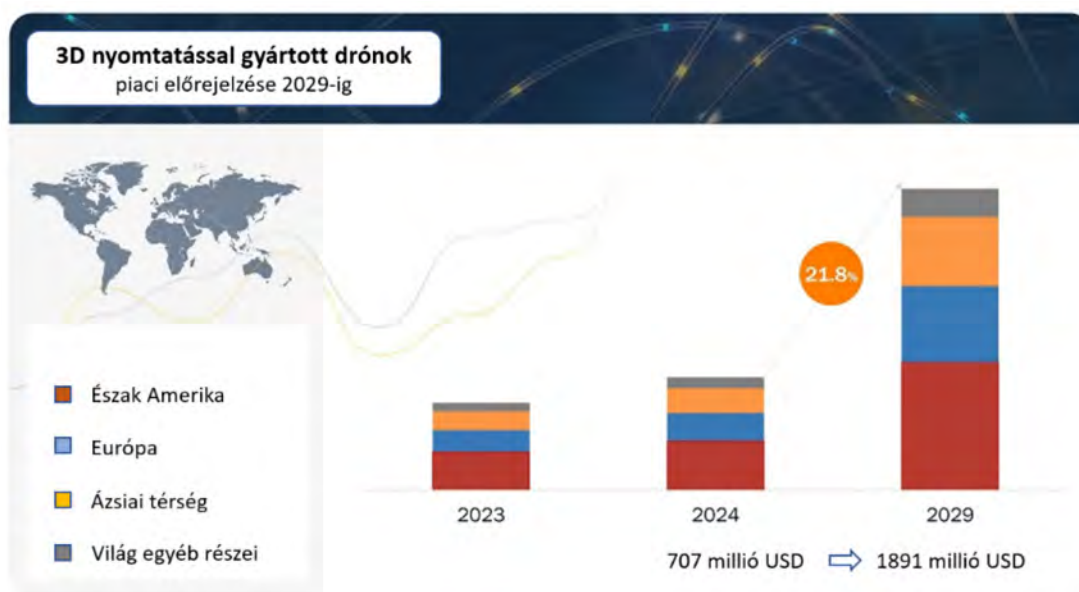
A 3D nyomtatás történetének kezdete az 1980-as évekhez nyúlik vissza. A különféle új gyártástechnológiák közül a leginkább ismert és használt (SLA, SLS, FDM) technológia már ebben az évtizedben szabadalmazásra került. Az elmúlt évtizedekben az általa nyújtott lehetőségeket számos iparág is felismerte, melynek köszönhetően a repülőgépgyártásban is egyre szélesebb körben alkalmazzák ezt a különféle alapanyagú és szerkezetű elemek gyártásához. A technológia egyre népszerűbb felhasználásának számos okai vannak, melyek közül a legfontosabbak:

- a termékek alacsonyabb előállítási költsége;
- a rövidebb gyártási idő;
- illetve a precízebb elemek gyártása.

A kezdeti 3D nyomtatók költségesek voltak, ezért egészen a 2000-es évekig elsősorban prototípusok készítésére használták őket. Az előállítási költségek csökkenése azonban lehetővé tette a technológia széles körű elterjedését, később a 3D nyomtatott termékek sorozatgyártását is. Egyes jelentések szerint a technológia megjelenését követő 35 év alatt, csak az Egyesült Államokban több mint 20 000 szabadalmat jegyeztek be a 3D nyomtatással kapcsolatban [54].

Napjainkban a 3D nyomtatás az egyik legforradalmibb gyártástechnológia közé sorolható. Folyamatos térhódítása gyakorlatilag mindenki számára érezhető. A hétköznapi termékek elkészítésén, a bonyolultabb járművek különböző alkatrészeinek gyártásán túl az élelmiszeriparban is megjelenik alkalmazása. Számos ipar – közöttük a repülőgép ipar – is meglátta pozitívumait ennek a gyártási lehetőségnek. Olyan nagy repülőgépgyártó cégek, mint a Boeing és Airbus napjainkban is alkalmazzák különféle repülőgép elemek, szerelvények gyártásához [51].

A 3D nyomtatással készített pilóta nélküli légitjárművek piaca várhatóan 2029-re a 2024-re tervezett 707 millió USD-ről, 1 891 millió USD-re fog emelkedni (lásd 12. ábra).



12. ábra 3D nyomtatással gyártott drónok piaci előrejelzése
(készítette a szerző a [55] alapján)

A gyártástechnológia alkalmazásának növekedése drasztikusan növekszik évről évre. A legnagyobb gyártók közül mindenképpen megemlítést érdemelnek az alábbi vállalatok, mint például a Boeing (USA), Parrot Drone SAS (Franciaország), General Atomics (USA), AeroVironment, Inc. (USA)

Különféle alapanyagokból – műanyagok, polimerek (PLA, ABS, PET), kompozitok, fémek – készülnek a drónok különböző szerkezeti-, tartó- és kiegészítő elemei. Elmondható, hogy a technológiának köszönhetően szinte bármilyen összetevő vagy részegység elkészíthető, többek között: keretek, vázszerkezetek, tartóelemek, merevítők, légcsavarok stb.

A 3D nyomtatás gyártástechnológiáján belül különböző algyártási technológiai folyamatok léteznek. Az alapanyag kiválasztása döntő szerepet játszik abban, hogy melyik technológia alkalmazható a kívánt termék előállításához. A leggyakoribb gyártástechnológiák az alábbiak:

- FDM – (Fused Deposition Modelling) gyártás;
- SLS – (Selective Laser Sintering) gyártás;
- SLA – (Stereolithography printing) sztereolitográfias gyártás.

Az *FDM technológia* esetén valamilyen műanyag alapanyagot használ a nyomtató. A hőre lágyuló polimerek 200-215 °C-on történő megolvasztása után egy az alapanyaghoz rendeltetett hőmérsékleten tartott tálcára kerülnek. Majd a nyomtatás folyamán fokozatosan egymásra épülő rétegeken keresztül készül el a végtermék. A két leginkább széles körben használt alapanyag az ABS (akrilnitril-butadién-sztirol) és PLA (polilaktin sav), melyek jellemzői az 7. táblázatban láthatók.

PLA		ABS	
Nyomtatási hőmérséklet:	190–220°C	Nyomtatási hőmérséklet:	230–250°C
Asztal hőfok:	0–70°C	Asztal hőfok:	70–100°C
Keménység:	magas	Keménység:	közepes
Rugalmasság:	alacsony	Rugalmasság:	alacsony
Nyomtathatóság:	kitűnő	Nyomtathatóság:	közepes

7. táblázat 3D nyomtatás PLA és ABS alapanyagai és azok jellemzői
(Készítette a szerző az [S4] alapján)

Az *SLS technológiánál* a szinterezés a kulcs, ami lényegében az anyag szilárd tömegének tömörítését jelenti. Ezt a folyamatot úgy valósítják meg, hogy az anyagot adott nyomáson és hőmérsékleten tartják, majd irányított lézernyaláb segítségével egy 2D-s metszetet alakítanak ki egy rétegben (síkban). Ezt a műveletet rétegről rétegre megismétlik, ahol az egyes rétegek egymásra épülnek, míg végül elkészül a 3D-s, szilárd nyomtatott termék. Ennél az eljárásnál nem szilárd formájú az alapanyag, hanem granulátum, mely az eljárás folyamán szintenként megolvasztva alakítja ki a majdani végleges formát. További előnye ennek a gyártásnak, hogy nyomtatás folyamán nem igényel a nyomtatandó darab segédstruktúrákat (ideiglenes megtámasztásokat) mivel teljesen önálló. Ezzel a módszerrel komplex, bonyolult darabok nyomtatása is lehetséges.

A harmadik legismertebb gyártástechnológia az *SLA*, vagy *sztereolitográfias gyártás*. A gyártási folyamat lényege abban áll, hogy a nyomtatni kívánt modelleket fényre keményedő műgyanta-alapanyagból állítják elő rétegről rétegre. A technológia folyékony fotópolimer-gyantát használ, amely az ultraibolya lézersugárral érintkezve megszilárdul. Hasonlóan más 3D nyomtatási eljárásokhoz, itt is rétegenként történik a 2D-metszetek leképezése. A folyamat megismétlésével – amely során a gyantarétegek egymásra helyeződnek – kialakul a végleges 3D-s forma. Az elkészült nyomtatott test végső tisztázására van szükség, amelynek során folyékony gyantába mártják a tárgyat, hogy eltávolítsák a felesleges anyagokat és éleket [S4]. A különféle eljárásokkal készült termékek a 13. ábrán kerültek szemléltetésre.



13. ábra FDM-SLA-SLS technológiával készült drónok
(készítette a szerző a [56][57][58] alapján)

A bemutatott technológiák mindegyikére igaz, hogy már nem csak prototípus termék gyártására alkalmasak, ezért egyre több alkatrész és gép gyártó integrálja a hagyományos gyártási technológiák (pl.: CNC marógépek) mellé azokat.

Ennek az egész 3D-nak akkor lenne bármi értelme, ha itt legalább egy táblázat lenne, hogy melyik gyártástechnológia, melyik drón alkatrész gyártására/után gyártására alkalmas.

1.6. Következtetések

A pilóta nélküli légijárművek dinamikus technológiai fejlődése az elmúlt évtizedekben széles körű elterjedésükhöz vezetett számos ágazatban. Alkalmazásuk egyes szektorokban a meglévő technológiákat egészíti ki, míg más területeken akár teljes mértékben kiváltja a hagyományos megoldásokat. Ahogyan e fejezetben részletezésre került, ezen eszközök üzemeltetési hatékonyságát alapvetően meghatározza konstrukciójuk, felépítésük és anyagválasztásuk. Emellett

az alkalmazhatóságuk szempontjából kritikus tényező az autonómia szintje, azaz az emberi irányítás mértéke. A pilóta nélküli légitjárművek használatát folyamatosan alakuló hazai és nemzetközi jogi keretrendszerek szabályozzák, amelyek tükrözik mind az állami (közcélú), mind a kereskedelmi érdekeket. Szerkezeti kialakításuk, valamint felépítésük változatos és sokrétű, továbbá egyre innovatív megoldásokkal találkozhatunk.

2. A PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰVEK MŰKÖDÉSI KÖRNYEZETÉNEK BEMUTATÁSA

A következő fejezet bemutatja azt a környezetet, amelyben a légi járművek – legyenek akár pilótával vezetettek, akár pilóta nélküliek – a földön és a levegőben működnek. Ez azért fontos, mert a pilóta nélküli légi járművek egyre gyakoribbá válnak a különböző országok nemzetközi repülőterein.

A polgári repülőtereken elsősorban munkadrónokat használnak, míg a katonai repülőtereken, nagyméretű, katonai alkalmazású UAV-k is települnek. Továbbá szükséges a repülőterek környezetének ismertetése, mivel számos esetben jelentettek illegális drónrepüléseket repülőterek közvetlen közelében – ezek komoly biztonsági kockázatot jelentenek.

2.1. A hagyományos légi járművek működési környezete

2.1.1. A polgári repülőterek

A hagyományos légi járművek mind földi, mind légi környezetben üzemelnek. A földi környezetben elsősorban repülőtereken találkozhatunk velük, amelyek biztosítják a működésükhöz szükséges alapvető infrastruktúrát. A repülőtér alaprendeltetése a légi járművek biztonságos kiszolgálása; ennek megfelelően különféle kiszolgáló és támogató infrastruktúrát működtet a zavartalan üzemeltetés biztosítására. A földi működési környezetben az alábbi folyamatok jellemzők:

- előkészítés a soron következő repülésre;
- fel-és leszállás;
- légi járművek földi mozgása;
- karbantartási és javítási munkálatok;
- utasok, áruk be- és kiléptetése, elhelyezése, tárolása, mozgatása stb.

A fenti tevékenységek, folyamatok egymást követően, gördülékenyen zajlanak egy repülőtér mindennapjaiban. Ezek a folyamatok nemcsak a logisztikai és operatív hatékonyságot, hanem a repülésbiztonságot is jelentősen befolyásolják, ezért minden lépés szigorú szabályozás hazai és nemzetközi standardok szerint történik (pl. repülőtérrend vagy repülőtérüzemeltetési szabályzat, továbbá egyéb hazai és nemzetközi előírások).

A repülőterek az alábbi szempontok szerint csoportosíthatók:

- elhelyezkedése szerint: vízi, szárazföldi;
- minősítés és tulajdonjog alapján: nemzetközi, nemzeti, egyéb minősítésű, valamint állami, magán, társasági tulajdonú;
- működési időszak, vagy a működés jellege szerint: állandó, időszakos, vagy tartalék, valamint folyamatos, szakaszos és szükség szerinti működésűek;
- rendeltetés szerint: polgári, katonai, sport, ipari stb.;
- repülőterek osztályozása nemzetközileg elfogadott osztályozási rendszer szerint: például repülőtereken végezhető műveletek fajtái, illetve repülőgépek geometriai jellemzői;
- NATO-követelmények alapján (katonai repülőterek esetében) [14].

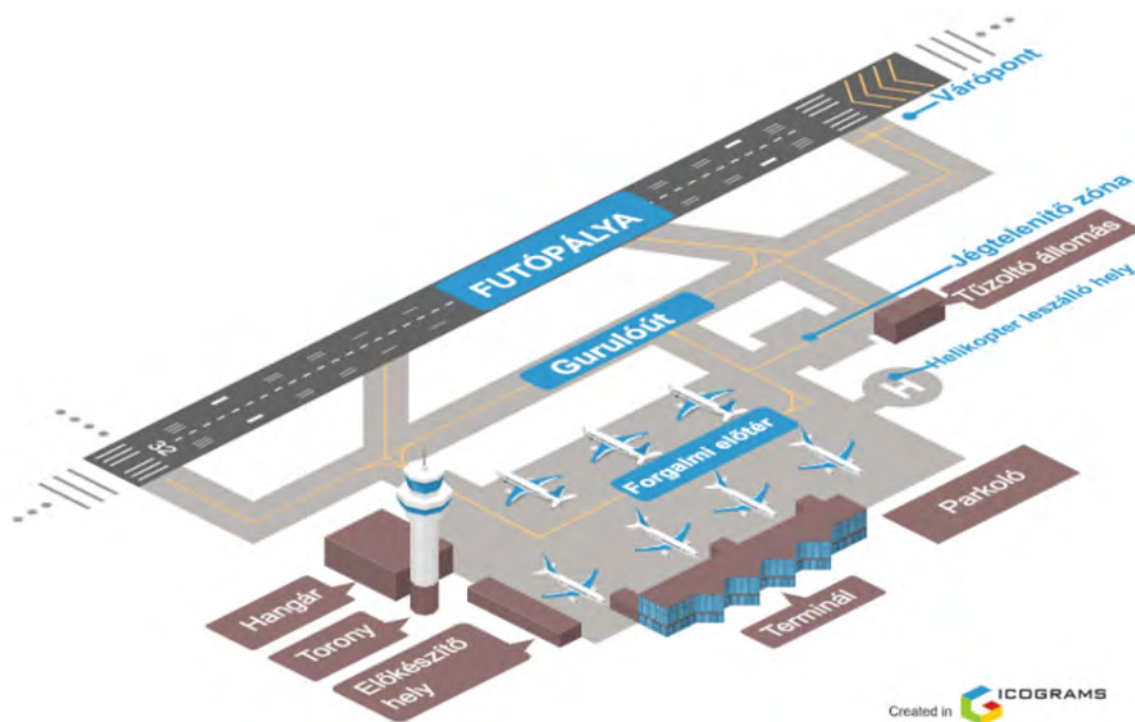
A katonai és polgári repülőterek közötti fő különbség az eltérő alaprendeltetésből adódik: a katonai repülőterek olyan speciális létesítményekkel is rendelkeznek, amelyek polgári célokra nem szükségesek. Mindazonáltal a katonai repülőtereknek is igazodniuk kell a nemzetközi repülőtéri szabályozáshoz és standardokhoz, különösen a repülésbiztonság és a légiforgalmi szolgáltatások alapvető követelményei tekintetében.

2.1.2. Polgári repülőterek jellemzői, főbb részei

Repülőterek kialakítását szigorú nemzeti és nemzetközi előírások szabályozzák. A tervezés és kivitelezés során az alábbi tényezők játszanak meghatározó szerepet:

- a terület földrajzi adottságai,
- földrajzi elhelyezkedés,
- a repülőteret igénybe vevő légijárművek mérete, technikai jellemzőik.

E tényezők együttes figyelembevételével történik a repülőtér kialakításának előkészítése. A repülőtér általános felépítését az 14. ábrán szemléltetem:



14. ábra Polgári repülőtér általános felépítése
(készítette a szerző az „Icograms Designer” online szoftverrel)

Az ábrán található területek és infrastrukturális létesítmények főbb feladatai a következők:

- Futópálya (Runway) - szárazföldi repülőtéren meghatározott, téglalap alakú terület, amely a légi járművek fel- és leszállására szolgál.
- Gurulóút (Taxiway) - szárazföldi repülőtéren a légi járművek kijelölt gurulására és a repülőtér egyes területeinek összekapcsolására létesített úthálózat.
- Forgalmi előtér (Apron) - szárazföldi repülőtéren a légi járművek kiszolgálására, utasok ki- és beszállítására, posta vagy áru ki- és berakására, üzemanyag felvételre, parkolásra, vagy karbantartásra kijelölt terület.
- Várópont (Holding position) - Olyan kijelölt terület, amelynél a guruló légi járművek és a földi járművek várakoztathatók annak érdekében, hogy a futópályától megfelelő biztonságos távolságra maradjanak.
- Repülőtéri irányító torony (TWR) - a repülőtéri forgalom számára légiforgalmi irányító szolgálat nyújtása céljából létesített egység [59].

A repülőtér ún. működési zónákra, területekre van felosztva, mely azt jelenti, hogy adott területen meg van határozva ki, mikor és milyen célból tartózkodhat ott. Az ellenőrzött repülőtéren mindenfajta közlekedés kizárólag a légiforgalmi irányító engedéllyel történhet.

Az alábbi működési területeket különböztetjük meg:

- mozgási terület (movement area): egy repülőtérnek a légi járművek fel- és leszállására, valamint gurulására használandó része, amely a munkaterületet és a forgalmi előteret foglalja magába;
- működési terület (manoeuvring area): egy repülőtérnek a légi járművek fel- és leszállására, valamint gurulására használt része a forgalmi előterek kivételével [59][60].

2.1.3. A katonai repülőterek

A katonai repülőtér olyan repülőtér, amelyet egy adott ország nemzeti és nemzetközi feladatainak érdekében üzemeltet. Ezeken a repülőtereken túlnyomórészt katonai személyzet teljesít szolgálatot, az állami célú repülési műveletek kiszolgálása és végrehajtása céljából. Ezen túl a repülőtér rendelkezik a folyamatos és zavartalan működéshez szükséges objektumokkal, létesítményekkel és a hozzá szükséges erőforrásokkal.

A katonai repülőterek felépítése és feladatrendszere eltér a polgári felhasználású, kereskedelmi célú repülőterek felépítésétől. Ebből adódóan rendelkeznek a katonai repülőgépek kiszolgálásához szükséges speciális infrastruktúrákkal és szolgáltatásokkal, amelyek használata szükséges feladatuk végrehajtásához. Ilyenek például a fegyverzeti szakanyag tárolók, fedezékek, légi kutató-mentő szolgálat helyiségei [61].

A katonai repülőtér alapvetően két fő zónára osztható: felszálló mezőre és munkaterületre.

A *felszálló mező* tartalmazza:

- a repülőgépek fel- és leszállásához szükséges területeket: füves- és szilárd burkolatú futópályák; kényszer leszállópálya;
- a közlekedésükhöz szükséges gurulóutakat;
- a forgalmi előtereket, állóhelyeket;
- a repülőgép fedezékek: repülőeszközök biztonságos tárolására;
- az irányító tornyot: légiforgalom irányítása;
- a hangárakat, csarnokokat: repülőeszközök tárolására, karbantartására, javítására;
- a harcálláspontot: a szervezet katonai vezetési pontja (Wing Operation Center - WOC);
- valamint a műszaki kiszolgáló helyeket.

A munkaterület magába foglalja az alábbiakat:

- lőszer-, robbanóanyag-és rakétatárolók: repülőeszközök pusztító eszközeinek tárolása;
- üzemanyag tárolók: repülőeszközök üzemeltetéséhez szükséges hajtó és kenőanyagok tárolása;
- telephelyek: a bázison használt haditechnikai eszközök védett elhelyezése;
- logisztikai raktárak;
- különböző töltőállomások: akkumulátor, oxigén, levegő stb.
- egyéb objektumok: különféle szolgálat helyiségek; irodák; étkezést biztosító létesítmények; egészségügyi központok stb. [14][62].

A repülőgépek tárolása és parkoltatása állóhelyeken, a szabad ég alatt történik, ahol a légijárművek előkészítése zajlik, továbbá kisebb karbantartási munkákat is el tudnak végezni a szakemberek. A légijárművek bonyolultabb javítási és karbantartási feladatait zárt épületekben, ún. hangárokban és szerelő csarnokokban hajtják végre. Ezek a létesítmények biztosítják a légijárművek üzemeltetéséhez és karbantartásához szükséges alapvető feltételeket.

További eltérés a polgári repülőterekkel, hogy a katonain léteznek olyan biztonságosan elkülönített zónák, ahol speciális repülési-és üzemeltetési feladatokat lehet végrehajtani pld.: külső teher függesztés, lőszer töltés/ürítés, kényszer leszálló stb.

2.1.4. A polgári és a katonai repülés jellemzőinek összehasonlítása

A repülés alapvetően két területre osztható: polgári célú- és állami célú repülésre. Mindkettő sajátos jellemzőkkel, működési környezettel és infrastruktúrával rendelkezik.

A polgári repülés alapját magán-vagy állami tulajdonban lévő polgári repülőterek biztosítják, melyek általában nagyvárosok közvetlen közelében találhatók. Ezek elsősorban kereskedelmi tevékenységet folytatnak. Ezeken a repülőtereken különféle, egymással összefüggő és sokrétű folyamatokat kell precízen összehangolni a zökkenőmentes működés érdekében. Fő profiljukba tartozik a személy- és teherszállítás, valamint légi taxi szolgáltatás nyújtása.

Ezzel szemben az állami repülőterek és az állami célú repülés elsősorban honvédelmi, rendvédelmi, valamint katasztrófavédelmi feladatokat szolgál ki. Ide tartozik többek között a légi- és légtérrendészeti, légi személy- és teherszállítási, a légifelderítési, a légi kutató-mentő, valamint különféle kiképzési (repülő, ejtőernyős stb.) műveletek.

A polgári repülést egy polgári légügyi hatóság és az illetékes légiközlekedési szerv irányítja. Ezek felügyelik többek között a légitársaságok, a repülőterek, valamint a légiközlekedéssel összefüggő tevékenységet folytató szervezetek (pl. gyártó, karbantartó, oktató, kiképző szervezetek) szabályszerű működését. Ezzel szemben az állami – benne a katonai – repülést a honvédelmi minisztérium fennhatósága alá tartozó katonai légügyi hatóság ellenőrzi és felügyeli. A katonai repülésre is különféle nemzetközi jogszabályok-, valamint a repülésért felelős polgári szervezetek által megfogalmazott iránymutatások vonatkoznak. Míg a polgári repülés a hétköznapi ember számára könnyebben hozzáférhető és érzékelhető, addig a katonai repülés zárt rendszerébe, és tevékenységébe csak korlátozottan lehet betekintést nyerni [63].

Statisztikai adatok szerint a katonai repülések az európai légtérben a járatok mintegy 25%-át teszik ki. Ezek összetételét a 15. ábra szemlélteti.



15. ábra Európa légierőinek az összetétele
(készítette a szerző a [64] alapján)

Az európai fegyveres légierő mérete alapján joggal nevezhető Európa legnagyobb „légitársaságának”, melybe mintegy 10 000 katonai repülőgép tartozik.

Az Európai Védelmi Ügynökség (EDA²⁰) feladata, hogy összekapcsolja a tagállamok légierőjét, valamint biztosítsa az európai légtérgazdálkodás hatékony irányítását. A polgári és katonai légiforgalom növekedésére reagálva az EDA a tagállamok bevonásával az alábbi célokat tűzte ki:

²⁰ EDA - European Defence Agency - Európai Védelmi Ügynökség

- hatékony légtérgazdálkodás;
- a repülésbiztonság fokozása;
- repülésekből származó környezeti terhelés csökkentése;
- a léginavigációs szolgálatok költségeinek csökkentése.

A légtér hatékony felhasználásához nélkülözhetetlen a teljesítmény alapú navigáció. Ennek megvalósítása hozzájárul mind a polgári, mint a katonai repülés igények maximális kielégítéséhez [64].

2.2. A hagyományos és a pilóta nélküli légijárművek közös légtérben való működését befolyásoló tényezők

A konvencionális és a pilóta nélküli légijárművek egységes légtérben történő kooperatív üzemeltetésének koncepciója egyre nagyobb hangsúlyt kap. Jelenleg is intenzív kutatások folynak annak érdekében, hogy ezen integráció technikai és szabályozási kereteit megteremtsék.

A drónok meglévő légtérstruktúrába történő beillesztése, ahogyan azt már korábban érintettem, folyamatban lévő komplex feladat. Ezen integrációs törekvések sikeres megvalósulása lehetővé tenné a hagyományos és a pilóta nélküli légijárművek biztonságos, közös működését azonos légtérben és időben. A kitűzött cél eléréséhez elengedhetetlen a jelenlegi légtér szerkezet szükség szerinti módosítása, új működési eljárások kidolgozása és olyan repülési szabályozások bevezetése, amelyek mindkét típusú légijármű számára garantálják a biztonságos üzemelést.

2.3. Pilóta nélküli légijárművek katonai alkalmazásának aspektusai

A drónok alkalmazása nemcsak a polgári szférában vált és válik egyre nélkülözhetlenebbé, hanem a katonai területeken is egyre nagyobb szerepet kap. Katonai műveletekben történő felhasználásuk jellemzői és mértéke folyamatosan növekszik, a világ különböző pontjain zajló konfliktusok következtében.

Felismerve hatékonyságukat és sokoldalú bevethetőségüket, egyre több ország integrálja a drónokat hagyományos katonai képességei közé. A drónok alkalmazási területe rendkívül sokrétű, a felderítéstől és megfigyeléstől kezdve a precíziós csapásmérésekig számos funkciót betöltenek, így sokoldalú lehetőségeket kínálnak a különböző haderőnemek számára. Megállapítható, hogy a drónok napjainkban világszerte a modern hadviselés elengedhetetlen és egyre meghatározóbb eszközévé váltak. Harctéri bevethetőség előnyei:

- nagyfokú repülési autonómia;
- kisebb méretű drónok nehezen észlelhető;

- gyors alkalmazhatóság és bevetethetőség;
- statikus és dinamikus (mozgó) célpontok elleni hatékony bevetés;
- kisebb méretű drónok hagyományos radarral nehezen érzékelhetők;
- a távpilóta fizikai biztonsága (üzemeltetés biztonságos távolságból);
- autonóm célpont felismerés, megjelölés és megsemmisítés.

Katonai alkalmazásuknak hátrányai:

- elektronikai hadviselés során zavarhatók, működésük folyamán akadályozhatók;
- az időjárási körülmények jelentősen befolyásolhatják repülési és bevetési képességeiket;
- gyártásuk és az alkatrészek logisztikai beszerzése akár több országon keresztül is történhet, amely háborús konfliktusok idején nehézkessé válhat.

A mesterséges intelligencia szerepe

A drónok hatékony alkalmazását nagymértékben támogatja a mesterséges intelligencia (MI) jelenléte. Az MI révén ezek az eszközök egyre önműködőbbé és autonómabbá válnak, növelve hatékonyságukat és alkalmazhatóságukat [65].

A katonai pilóta nélküli légi járműrendszerek piaca – összhangban a polgári alkalmazások iránti fokozódó kereslettel – dinamikus növekedést mutat. E tendencia következtében egyre több gyártó kapcsolódik be védelmi célú drónrendszerek fejlesztésébe és gyártásába, ezzel kielégítve a nemzetállamok egyre bővülő beszerzési igényeit. Napjainkban jól látható, hogy számos ország bővíti fegyverarzenálját dróntechnológiával. A katonai drónok piaci forgalma 2023-ban 14,14 milliárd amerikai dollár volt, és előrejelzések szerint ez az érték 2032-re elérheti a 47 milliárd dollárt. A piacot elsősorban az autonómia mértéke határozza meg, amely alapján három fő kategóriára oszthatók a drónok: távirányítható-, részleges autonómiával rendelkező - és teljes autonómiával rendelkező UAV-k.

A 2023-as adatok alapján a távirányítható drónok tették ki a piac legnagyobb részét, 84,18%-os aránnyal. A fennmaradó 15%-on belül nagyobb részt a részleges autonómiával rendelkező UAV-k képviseltek, míg a teljes autonómiával rendelkezők kisebb piaci részesedést értek el [66].

A hírszerző, megfigyelő, célpontmeghatározó és felderítő ISTAR²¹ igények továbbra is a mozgatórugói a védelmi célú UAV és UA rendszereknek. A globális katonai drónipart az Egyesült

²¹ ISTAR - Intelligence Surveillance Target Acquisition and Reconnaissance - hírszerzési megfigyelési célpontmeghatározó felderítés

Államok és Izrael uralta a 2020-as évekig. Izrael drón export piaca mértéke az igények mintegy 60%-át tette ki az elmúlt több mint harminc évben, amelyeket az Elbit Systems és az Israel Aerospace Industries piaci szereplői biztosítottak [67].

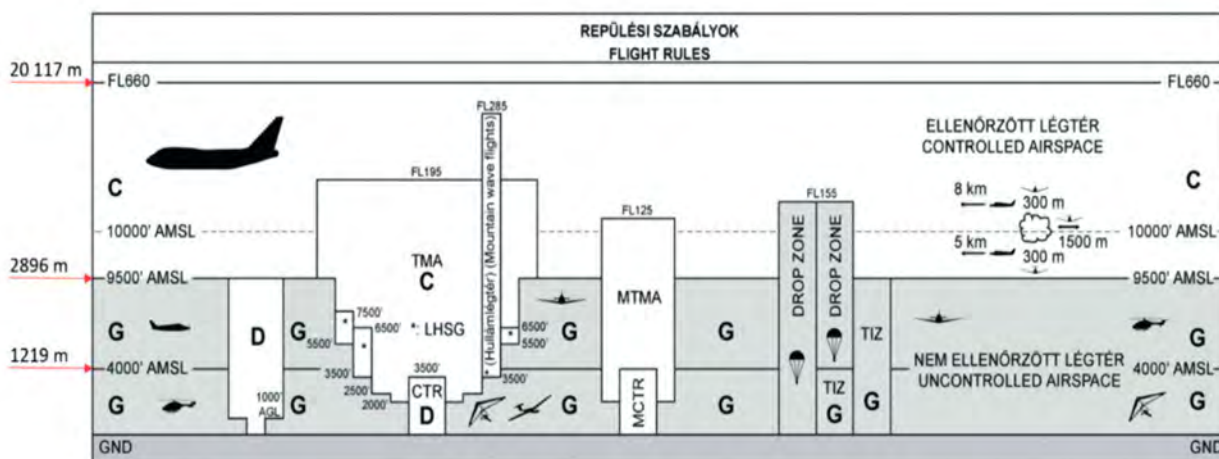
2.4. Légterek felépítése, szerkezete

Magyarország légtérszerkezetét – más országokhoz hasonlóan – az ICAO ajánlásoknak megfelelően alapján alakították ki, mellyel kapcsolatban alapvető elvárás, hogy biztosítania kell valamennyi légtérfelhasználó számára a biztonságos és szabad légtérhasználatot [13].

A légtér olyan erőforrás, amely bárki által igénybe vehető az érintett állam által meghatározott feltételek szerint (4/1998. Korm. rendelet). A légi közlekedésről szóló 1995. évi XCVII. törvény (Lt.) a magyar légtérrel az alábbiak szerint határozza meg: „Magyarország feletti légtérnek a légi közlekedés számára – a mindenkor legfejlettebb technikai színvonal alapján – fizikailag igénybe vehető magasságig terjedő része.” (Lt. 71. § 32.9). Ez azt jelenti, hogy nincs fizikai meghatározott magassága a magyar légtérnek [13][68].

A magyar légtér, nemzetközi ajánlásoknak megfelelően különböző légiforgalmi szolgáltatások és egyéb légtérfelhasználási igények miatt speciális légterekre került felosztásra. Ezekben a légterekben történő repülés és légtérfelhasználás speciális szabályok alapján hajtható végre.

A légtérszerkezet a légiforgalmi szolgáltatás szempontjából ellenőrzött és nem ellenőrzött légtérre osztható (lásd 16. ábra).



16. ábra A magyar légtérszerkezet felépítése
(készítette a szerző a [69][S3] alapján)

Ezeket a légtereket a légijárművek légi közlekedési célból használhatják, azonban az ellenőrzött légtér igénybevételéhez külön feltételek teljesítése szükséges. Az ellenőrzött légtérben történő

repüléshez többek között légiforgalmi irányítói (ATC²²) engedély, benyújtott repülési terv, valamint a 56/2016. NFM²³ rendelet által előírt felszereltségi követelmények, mint például kétoldali rádiókapcsolat megléte szükséges.

Ezzel szemben a nem ellenőrzött légtérben a légi járművek az általános repülési szabályok betartásával, a légijárművezető saját felelősségére közlekedhetnek.

A légterek között megtalálhatók speciális, az adott helyszínhez és egyéb működés korlátozásához kapcsolódó, veszélyes, korlátozott, időszakosan korlátozott, vagy tiltott légterek [S3].

A magyar légtér az ICAO ATS²⁴ légtérosztályozási rendszeren alapul, amely szerint a légiközlekedés számára igénybe vehető légterek „C”, „D” és „G” osztályokba sorolhatók. E légterek a 16. ábrán láthatók, melyek között megtalálunk ellenőrzött és nem ellenőrzött légtereket.

Az ellenőrzött légterek „C” vagy „D” osztályba tartoznak, és magukban foglalják:

- a repülőtéri irányítói körzeteket, amelyek lehetnek polgáriak (CTR²⁵) vagy katonaiak (MCTR²⁶);
- a közeli körzeti irányítói körzeteket, amelyek szintén lehetnek polgáriak (TMA²⁷) vagy katonaiak (MTMA);
- az egyéb polgári irányítói körzeteket (CTA²⁸).

A nem ellenőrzött légterek „G” osztályba tartoznak.

A magyar légtérben speciális légtérfelhasználás céljából – például a légi közlekedés biztonságát veszélyeztető események vagy tevékenységek (tűzijáték, repülősport-rendezvények, katonai gyakorlatok, ejtőernyős bemutatók, pilóta nélküli légijárművek repülése stb.) esetén – eseti légteret jelölhetnek ki, amelynek előzetes igénylése szükséges. Az eseti légterek használata kizárólag meghatározott időtartamra és meghatározott feltételek megléte esetén lehetséges [S3].

2.5. Az állami célú pilóta nélküli légijármű rendszerek jogszabályi környezetének vizsgálata

Az állami célú légijármű-rendszerek esetében a 38/2021-es kormányrendelet az irányadó, amelyet az állami szereplők kötelesek betartani.

²² ATC - Air Traffic Control - légiforgalmi irányítás

²³ NFM - Nemzeti Fejlesztési Minisztérium

²⁴ ATS - Légiforgalmi Szolgálat

²⁵ Control Zone: repülőtéri irányítói körzet

²⁶ Military Control Zone: katonai repülőtéri irányító körzet

²⁷ TMA/MTMA - Terminal Control Area/Military Terminal Control Area - irányítói körzet/katonai irányítói körzet

²⁸ CTA - Control Area - polgári irányítói körzet

Az állami tulajdonú és használatú pilóta nélküli légi járművekre vonatkozó jogszabályok külön rendelkezéseket tartalmaznak a közszolgálati szereplők – például rendvédelmi és honvédelmi szervek – számára. Ezek a szabályok meghatározzák a minimálisan betartandó követelményeket, amelyek alapján állami légi járművekkel végrehajtott műveletek folytathatók Magyarország területe felett. Az alkalmazási kategóriák részleteit és a vonatkozó követelményeket az ábra szemlélteti.

Az állami célú UAV-k üzemeltetése Magyarországon szigorú szabályozás alá esik. Öt fő kategóriát különböztetünk meg (A, B, C, D, E), amelyek a légi jármű tömege alapján kerültek meghatározásra. Emellett a kezelőszemélyzetnek is szigorú követelményeknek kell megfelelnie.

Az állami célú UAV-kra vonatkozó jogszabályi keretrendszer az állami tulajdonú és működtetésű intézményekre vonatkozik, beleértve a honvédelmi és rendvédelmi feladatokat ellátó szervezeteket.

Az állami tulajdonú pilóta nélküli légi járművek és légi jármű-rendszerek a felhasználás jellege alapján az alábbiak szerint csoportosíthatók, műveleti feladatrendszerük alapján:

I. Rendvédelmi célú feladatok:

- forgalom megfigyelése;
- közbiztonság támogatása, térfigyelés;
- célszemély és céltárgy felderítés;
- határvédelem;
- személyvédelem.

II. Katasztrófavédelmi célú feladatok:

- terület megfigyelés (árvíz, belvíz, jégzajlás stb.)
- környezetvédelmi ellenőrzések (ipari létesítmények, zagy tározók)
- légkör monitorozása (levegőminőség mérése)
- tűz-terjedés megfigyelése, tűzoltás;
- katasztrófa-, megelőzés, felmérés, elhárítás (természeti, ipari).

III. Katonai célú feladatok:

- ISTAR feladatok;
- felszíni célok elleni csapásmérés;
- ABV (Atom-, Biológiai és Vegyi védelem) felderítés;
- kutatás- és harci kutatás-mentés;
- légi-kommunikációs feladatok;
- logisztikai és utánpótlási feladatok;
- erők védelme [70].

A katonai célú használat esetén a pilóta nélküli légi járműveknek az esetek többségében speciális kritériumoknak kell megfelelniük, amelyek biztosítják a hatékony és biztonságos üzemelést. Ezt már számos ország hadserege felismerte, hogy ez az UA technológia hatékonyan használható országuk és területük védelméhez

Fontos azonban különbséget tenni a nagy méretű, nagy hatótávolságú, kifejezetten katonai feladatok ellátására tervezett UA-rendszerek, valamint a kereskedelemben kapható, fegyveres feladatokra átalakított drónok között.

A 2010-es években, az Iszlám Állam elleni műveletek során jelentek meg azok az első drónok, amelyeket kereskedelmi forgalomban elérhető modellek átalakításával tettek alkalmassá katonai célokra. Ezeket a drónokat robbanóanyagokkal felszerelve alkalmazták, és hatékony műveleteket hajtottak végre az ellenséges területeken, miközben minimalizálták az emberi veszteségeket [71].

A modern katonai műveletekben számos új technológia, mint ahogy a drónok is egyre nagyobb szerepet kapnak a katonai műveletekben.

A katonai feladatok ellátásának biztonságos végrehajtása megkérdőjelezhetetlen egy hadsereg hatékony működésében. Ezeket képesek támogatni a pilóta nélküli légi járművek, melyek legfontosabb jellemzőik:

- a valós idejű felderítés és helyzetfelismerés;
- a kutatás-mentés műveletek támogatása;
- a speciális katonai műveletek támogatása;
- a harctéri kommunikáció támogatása [72].

2.6. Pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának meteorológiai szempontjai

A pilóta nélküli légi járművek (UAV-k) alkalmazása során a repülési környezetben számos légköri időjárási jelenség léphet fel, amelyek jelentős kockázatot jelenthetnek az eszközök biztonságos működésére. Ezen rendszerek üzemeltetőinek ezért alapos ismeretekkel kell rendelkezniük a környezetükben zajló alapvető meteorológiai folyamatokról, azok dinamikájáról és hatásairól. Az atmoszférában lezajló változásokat összefoglalóan időjárásnak nevezzük. A repülésbiztonság szempontjából kiemelt jelentőséggel bírnak a repülési környezetben végbemenő közvetlen és közvetett fizikai folyamatok, valamint azok változásai, amelyekről az üzemeltetőknek a repülési feladat megkezdése előtt minden esetben tájékozódniuk szükséges [73][74].

A légkör felépítése az 17. ábrán látható.



17. ábra A légkör vertikális felépítése, határrétegei
(készítette a szerző a [75] alapján)

A UA-k repülése zömében (alapvetően a kereskedelmi és rekreációs célú drónok) többségében az 17. ábrán is jól látható troposzférán belül történik, így elegendő e rétegben zajló fizikai folyamatoknak a vizsgálata, ismerete.

Erre a rétegre jellemző fizikai törvényszerűség, hogy a földfelszíntől vertikálisan eltávolodva a magasság növekedésével a hőmérséklet és a légköri nyomás fokozatosan csökken [73].

Légköri jelenségek, azok hatása a repülésre

A troposzférában történő repülés során az alábbi veszélyes időjárási jelenségek fordulhatnak elő:

- erős szellőkés, alacsony szintű szélnyírás, különböző típusú turbulencia;
- alacsony felhőalap;
- korlátozott látástávolság;
- különböző jegesedési fajták;
- intenzív csapadék;
- elektromos légköri hatások (villámcsapás).

A *szélerősség* hirtelen megváltozása, lökések formájában megjelenő hirtelen hatásai nemkivánt jelenség a repülésben. Ez komoly hatással van pilóta nélküli légitárművekre, mivel a változás mértéke és hatása előre nem kiszámítható.

A *korlátozott látástávolság* szintén nagyon fontos a repülésben, mely azt eredményezi, hogy egy tárgy egyre nehezebben lesz beazonosítható, később lesz észlelhető. Ez közvetlenül kihat a repülési feladat biztonságos végrehajtására.

Az *alacsony felhőalap* azt jelenti, hogy az észlelt felhőzet mennyisége egy adott legkisebb magasságon 5/8 (okta) mennyiségű. A földfelszín és a legalacsonyabb felhőréteg közötti függőleges távolság értékét adja meg méterben (m) vagy lábban (ft). Fontos meteorológiai jelenség, mivel befolyásolja a látási viszonyokat, ezáltal hatással van a légijárművek biztonságos közlekedésére. Amennyiben ez a magasság túl alacsony, akkor a drónok tereptárgyaknak is ütközhetnek, köszönhetően a rossz látási viszonyoknak.

Az erős légmozgás képes megváltoztatni az UAV-k repülési pályáját. A légáramlás fokozatos növekedése előidézi a lökéses jellegű szeleket. Ebből alakul ki a *szélnyírás*, amikor is a szél sebessége és/vagy iránya hirtelen megváltozik a magasság változással. A szélnyírásnak különböző fajtái ismertek, mint például függőleges, vízszintes és le-és feláramlási szélnyírás. A légijárművekre gyakorolt hatását figyelembe véve megkülönböztetünk:

- szembeszél szélnyírást – ekkor növekszik a légijármű sebessége a levegőhöz képest, ennek következtében emelkedni fog;
- hátszél-szélnyírás – ekkor csökken a légijármű sebessége a levegőhöz képest, ennek következtében süllyedni fog;
- oldalszélnyírás: ebben az esetben a légijármű jobbra vagy balra fog sodródni a vízszintes tengelyéhez képest;
- le-és feláramlási szélnyírás: ekkor vagy emelkedik, vagy süllyed a légijármű attól függően, hogy a nyírás milyen irányban hat rá [76].

A drónok irányításakor nincs lehetőségünk szabad szemmel történő tájékozódásra, mivel a fedélzeti kamera kép által biztosított információkat látjuk a szemeinkkel. Ezáltal jobban ki vagyunk szolgáltatva a drón repülési környezetében előfordulható különféle veszélyeknek például idegen légijármű vagy egyéb mesterséges tereptárgyak.

A légkörben a víz túlhűtött állapotban is jelen lehet, ami azt jelenti, hogy a folyékony halmazállapotú vízcseppek, amikor mechanikai behatás éri őket – például ütköznek egy pilóta nélküli légi jármű (UAV) vezérlőfelületével –, azonnal megfagynak. Ez a folyamat a felületi jegesedés jelenségét eredményezi. Az ilyen típusú jegesedés lehetséges következményeit az érintett UAV működésére az alábbi 18. ábra szemlélteti [9].



18. ábra Jegesedés kialakulásának következményei és annak hatásai
(készítette a szerző a [9] alapján)

A kialakult felületi jégréteg tömege jelentős lehet a drón tömegéhez képest. Ebből következik, hogy a légi jármű adott pontján kialakult jégréteg miatt a légi jármű súlypontja is megváltozik, miáltal kormányozhatósága nehezkessé válhat. Továbbá a motor- vagy hajtómű működését is negatívan befolyásolhatja az jégréteg kialakulása. Bármelyik az előbb említett helyzet egyenként- vagy összeadódva is eredményezhetik azt, hogy a pilóta nélküli légi jármű lezuhanhat. A kialakult jegesedés mértékét olyan tulajdonságok határozzák meg, mint az UAV repülési sebessége, a felület geometriai tulajdonságai, a környezeti hőmérséklet, illetve a páratartalom.

A légkörben kialakulható *elektromos jelenségek* is hatással vannak a hagyományos légi járművekre, és a pilóta nélküli légi járművek repülésére is. Zivatarok megjelenésével járó jelenség a villámlás, amelyek főként a nyári időszakban fordulnak elő, mint a zivatarok kísérő jelensége. Azonban, ha villámcsapás ér egy légi járművet, akkor képes komoly károkat okozni a fedélzeti rendszerekben, amelyeknek következményei különböző mértékű repülő események lehetnek [9].

2.7. Következtetések

Ahogy a fejezetben részletezésre került, a pilóta nélküli légi járművek operatív környezete rendkívül összetett. Ez magában foglalja mind a fizikai infrastruktúrát, mind a dinamikus környezeti tényezőket, különösen az időjárási viszonyokat, amelyek közvetlenül befolyásolják a légi járművek repülési teljesítményét és biztonságát.

A drónok állami vagy kereskedelmi célú alkalmazását alapvetően meghatározza a szabályozási környezet, amely kijelöli az engedélyezett műveleti kategóriákat és területeket. Ezek az eszközök a komplex, rétegzett légtérszerkezetben üzemelnek, ahol működésüket szigorú előírások szabályozzák. E szabályozás kiemelt célja a biztonságos integráció a meglévő légiforgalommal, amely magában foglalja a különböző légtér-osztályokban közlekedő, ember vezette légi járműveket is. Az UAS és a hagyományos légiforgalom közötti potenciális konfliktusok elkerülése alapvető biztonsági követelmény.

Bár a jogszabályok egyértelműen előírják az üzemeltetési szabályok betartását a felhasználók számára, a technológia fejlődése lehetővé teszi ezen eszközök üzemeltetését akár jelentős (több ezer méteres) magasságokban is. Ez a képesség növeli a légtérintegráció kihívásait és aláhúzza a hatékony szabályozás, a légtérfelügyelet és a felhasználói felelősség fontosságát.

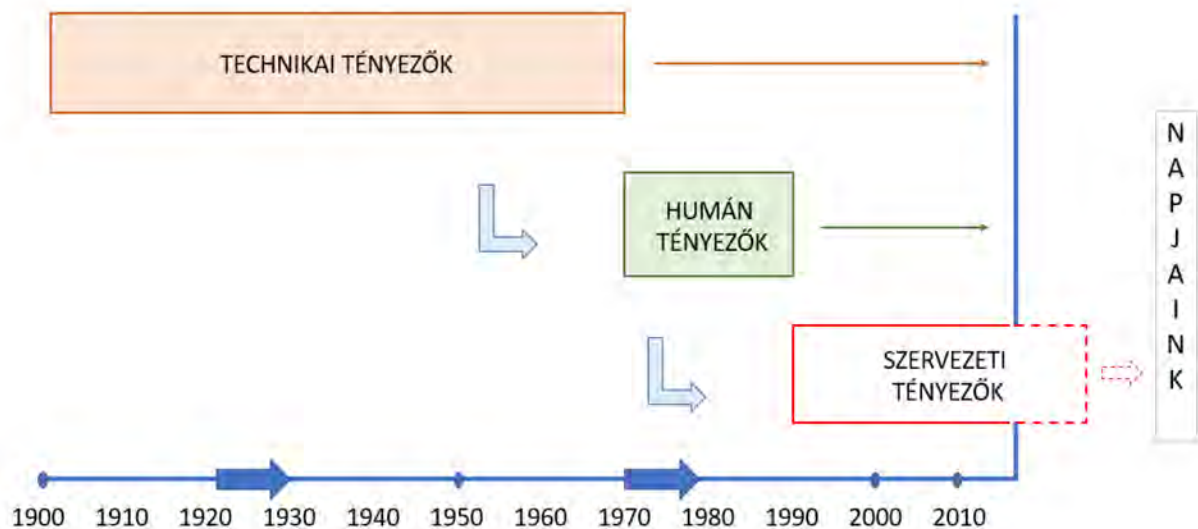
3. PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰVEK REPÜLÉSBIZTONSÁGI ELEMZÉSE

A repülésbiztonság fejlődéstörténetének kezdete egészen az 1900-as évek elejéig eredeztethető. Az Egyesült Államokban az Orville Wright fivérek 1903. december 17-én végrehajtott első sikeres motoros repülését követően számtalan fejlesztés kezdődött a XX. század elején. A fejlesztések és a repülések ígéretesek voltak nemcsak a katonai repülésben, hanem a kezdődő kereskedelmi alkalmazásokban is. Ennek első próbálkozása volt az I. világháború alatt alkalmazott korai légiposta szolgáltatás. A kereskedelmi repülésekre való igény következménye volt, hogy 1925-ben megalakult az első nyereséggel működtetett amerikai légitársaság az Air Mail Act, ezt követően pedig megkezdődött a kereskedelmi személyszállítás az alábbi légitársaságok közreműködésével: Pan American Airways, Western Air Express és a Ford Air Transport Service. A következő mintegy 13 évben néhány légikatasztrófa felhívta a figyelmet, hogy a repülésbiztonsággal foglalkozni kell, ami cselekvésre kényszerítette a törvényhozókat. Ennek kapcsán Franklin Rooseveltnél 1938-ban aláírta a polgári repülésre vonatkozó törvényt, majd felállításra került a Polgári Repülési Hatóság (Civil Aeronautics Authority - CAA) egy háromtagú repülésbiztonsági testülettel. A következő évtizedek sem múltak el légikatasztrófák nélkül így továbbra is fenntartani és fejleszteni kellett a hatóság munkáját. 1958. augusztus 23-én megalakult a Szövetségi Légiközlekedési Ügynökség (Federal Aviation Agency), amely átvette elődjének szerepét. Majd ennek a szervezetnek lett a jogutódja a napjainkban is működő Szövetségi Légügyi Hivatal (FAA) [77].

A repülésbiztonságért felelős szervezetek hatékony munkája, az új repülési szabályok bevezetése, továbbá a repülőgépipar folyamatos fejlődésének hatása fokozatosan eredményezte azt, hogy évről évre egyre kevesebb halálos áldozatot követelő légikatasztrófa történt világszerte. A halálos kimenetelű balesetek száma az 1950-es évek óta minden évtizedben folyamatosan csökkent, ezzel párhuzamosan pedig egyre növekvő légiközlekedés volt érezhető. 1959-ben az Egyesült Államokban egymillió járatra mintegy 40 halálos baleset jutott. Tíz évvel később ez kevesebb mint kettőre csökkent. Ez napjainkban körülbelül 0,1 esetet jelent egy millió járat-szám esetén [78].

Az elmúlt évtizedekben folyamatosan változott, az időről-időre megtörtént repülőeseményekből levont tanulságoknak köszönhetően folyamatosan fejlesztették és bővítették ezen területet. A repülésbiztonság fejlődéstörténetének korszakai több szakaszra oszthatók, amelyek a tech-

nológiai fejlődés, szabályozások és üzemeltetési tapasztalatok hatására alakultak ki. A repülésbiztonsági rendszer fókuszja az elmúlt évtizedekben az alábbi szempontokhoz köthető (lásd 19. ábra).



19. ábra Repülésbiztonság evolúciója
(készítette a szerző a [79] alapján)

Az 1900-as évek elején a repülésbiztonság akkori szintjét a biztonsági hiányosságok, technikai tényezők és vele együtt a technológiai hibák határozták meg. Az 1950-es évektől kezdődően a különféle műszaki fejlesztéseknek köszönhetően csökkenő tendenciát mutatott a baleseteknek a száma. A repülésbiztonságnak egy új megközelítése kezdett kialakulni. Ennek az ún. proaktív vagy kezdeményező megközelítésnek az alapja az adatok hatékony felhasználása volt kezdve a rendelkezésre álló adatok begyűjtéstől át az elemzéssel bezárólag. Továbbá az ismert repülésbiztonsági kockázatok úgynevezett reaktív (külső körülmények hatására történő automatikus, reflexszerű cselekvés) módon történő nyomon követése. Ettől az időszaktól kezdett kialakulni a repülésbiztonsági management szemlélet szerepe és jelentősége.

A következő korszak jellemzője volt az ember-gép kapcsolat, köszönhetően főként a technológia fejlődésnek. Jellemzően ebben az időszakban az egyén szerepe kulcsfontosságú volt, azonban az emberi teljesítmény változása miatt szintén előfordultak repülőesemények. A legutolsó korszak, amiben napjainkban is fenntartják, illetve kívánják megfeleltetni a repülésbiztonságot az a szervezeti tényezők felismerése és vizsgálata jelenti. Itt már nem csak a technikai (légijármű, kiszolgáló, biztosító, légi, földi, műholdas rendszerek, berendezések stb.), emberi (humán) tényezők vizsgálata jelenti a megoldást, hanem kiszélesítve figyelembe veszi többek

között a szervezeti kultúrát. Korábban jellemzően a vizsgálatok a már bekövetkezett balesetekre, repülőeseményekre korlátozódott. Az új szemléletnek köszönhetően egyrészt megjelent a rendelkezésre álló adatok proaktív (előrelátóan cselekvő) módon történő elemzése, illetve megmaradt a reaktív módon történő adatok, módszerek nyomon követése (ismert repülésbiztonsági kockázatok). Ezek együttesen teremtették meg a szükségességét a repülésbiztonsági managementnek [80].

3.1. Pilóta nélküli légijárművek megjelenésükből adódó veszélyforrások ismertetése

Pilóta nélküli légijárművek megjelenése és alkalmazása számos biztonsági kérdést vet fel. Felhasználásukkal komoly veszélyforrást idézhetnek elő a környezetükben, különösen olyan területeket, ahol használatuk egyébként is tiltott (pl.: repülőterek; kritikus infrastrukturális létesítmények stb.).

A pilóta nélküli légijárművek által jelentett veszélyeket elsőként fel kell tudni ismerni, majd ezt követően mérni azok káros hatását. Ehhez szükséges a már meglévő eseteket kivizsgálni. A lehetséges veszélyek elhárítása megvalósulhat a védendő létesítmények, repülőterek esetében az alábbiakkal:

- szabályozás keretében;
- képzésekkel;
- műszaki rendszerek alkalmazásával;
- valamint a kockázatkezelésre kidolgozott eljárásrendekkel [25].

3.1.1. Repülésbiztonsági kockázat

A repülés számos veszélyt magában hordoz, amelyek különböző veszélyforrásokból eredeztethetők. Ezek ismerete szükséges és nélkülözhetetlen a repülésbiztonsági kockázat mértékének meghatározásában. Ehhez elsőként nézzük meg egyenként ezeknek a kifejezéseknek a jelentését általánosságban, majd a repülésbiztonság szempontjából.

Mi a *kockázat*? „Valamely cselekvéssel, vállalkozással járó veszély, kár, baj, kellemetlenség lehetősége” [81].

Mi a *veszély*? „Az a helyzet, állapot v. lehetőség, amely kárral, bajjal, romlással v. elvesztéssel fenyeget vkit, vmit” [82].

Az ICAO által megfogalmazva – a veszély definíciója helyett – a *veszélyforrás* olyan állapot vagy körülmény, ami károkat, sérüléseket okozhat emberekben, anyagokban, szerkezetekben és amik hozzájárulhatnak egy légijármű baleset bekövetkezéséhez [83].

Másképpen fogalmazva a *veszély* minden olyan tényező, állapot vagy körülmény, amelyek eseményt vagy akár balesetet is okozhatnak.

3.1.2. A veszély értelmezése

A repülésbiztonság veszélyei különböző forrásokból eredeztetők, amelyek lehetnek technológiai, emberi, környezeti és szervezeti tényezők. A *veszélyforrás* olyan tényező, tárgy, tevékenység vagy állapot, amely a veszély kialakulásához vezethet. Ezek tehát az okai vagy forrásai egy adott veszélyhelyzetnek. Például egy viharzóna veszélyforrást jelent a repülőgépekre, mivel turbulenciát és villámlást is okozhat.

Egy légijármű felszálláskor a repülőtér környezetében jelenlévő madarak is veszélyforrást, illetve kockázatot jelenthetnek a légijárműre, ezáltal az utasokra is. Ennek a lehetséges nem ritka veszélynek a forrása maguk a madarak, illetve madár rajok, akik a repülőtér környezetében jelen vannak. Különböző műszaki megoldásokkal próbálják őket távol tartani a repülőterektől kisebb-nagyobb sikerrel. Azonban időről-időre előfordul, hogy madárral ütközik egy légijármű fel- és leszálláskor. Ennek a legnagyobb valószínűsége kb. 150-300 méter magasság tartományban következik be (500-1000 ft) [84].

Azonban nagyon fontos azt látni, hogy a veszélyforrások pusztán ismerete önmagában nem biztosít megoldást a probléma kezelésére, mivel önmagában nem csökkenti a kockázatokat vagy előzi meg a lehetséges következményeket. Ahhoz, hogy mérhető legyen a repülésben előforduló különféle veszélyeknek a nagysága, ismernünk kell a lehetséges káros következmény súlyosságának és a bekövetkezésének a valószínűségét is. A kockázat nagyságát a veszély súlyosságának és a bekövetkezés valószínűségének szorzata adja. Egy másik tényező, amelyet szintén figyelembe kell venni a kockázat meghatározásánál, az a kitettségnek a szintje, vagy nagysága. Ennek értéke azt jelzi, hogy ilyen mértékben, mennyi ideig van kitéve az érintett veszélynek a légijármű, illetve annak személyzete.

A repülésbiztonságon belül a kockázatkezelés elsődleges célja, egy szervezet működésének veszélyektől és azok következményeitől történő megóvása, ezáltal egy elfogadható biztonsági szint megteremtése és annak fenntartása. Ehhez a lehetséges veszélyeket fel kell tudni ismerni,

amihez elsőként a veszélyek felderítése szükséges, ezt követően azok azonosítása, majd végül azok értékelése [17][85].

Az előfordulás, a balesetek, incidensek vagy események, illetve légi járművek üzemeltetésének biztonságát befolyásoló közvetlen veszélyeknek a gyűjtőfogalma. Ennek pontos definícióit az ICAO Annex 13-as melléklete tartalmazza. Miszerint megkülönböztetnek:

- baleseteket;
- eseményeket;
- súlyos eseményeket.

A *baleset* egy légi jármű üzemeltetésével folyamán olyan esemény, amely során legalább egy személy halálos vagy súlyosan megsérül, és/vagy a légi jármű olyan szerkezeti sérülést vagy meghibásodást szenved, amely hatással van a biztonságos működésére.

Az *esemény vagy incidens* egy légi jármű üzemeltetésével összefüggő, balesettől eltérő olyan esemény, amely befolyásolja vagy befolyásolhatja a légi jármű üzemeltetésének a biztonságát.

A *súlyos eseménynek* nevezzük az olyan eseményt, amelynek következtében majdnem bekövetkezett a baleset [86].

Ahhoz, hogy a repülésbiztonság kellő biztonságot nyújtson, szükséges a már meglévő-és az újonnan érkező adatok folyamatos elemzése, azok feldolgozása és kiértékelése [16].

A légi közlekedésben részt vevő légi járművek környezete gyorsan változhat. Az ezeket kiváltó tényezők egyrésze előre jelezhető például bizonyos időjárási állapotoknak a várható kialakulása, megjelenése. Azonban a véletlenszerű vagy sztochasztikus állapotokra nehéz felkészülni, mivel előre nem tervezhetők a megjelenésük. Azonban elengedhetetlen a veszélyek ismerete hiszen, ha nem vagyunk tisztában velük, akkor nem leszünk képesek megfelelően kezelni az adott időben felmerülő, ismeretlen veszélyekkel járó kockázatokat. Ennek következményeként csökkenni fog a repülésbiztonságnak az elvárt szintje, aminek eredményeként légiközlekedési események következhetnek be.

A repülésbiztonság megteremtésében különböző tényezők játszanak szerepet. Alapvetően ezeket a tényezőket három fő csoportra és több alcsoportra tudjuk bontani:

1. **Objektív tényezők:** Ilyen tényezőknek nevezünk minden olyan körülményt vagy állapotot, amely emberi beavatkozás nélkül közvetve vagy közvetlenül befolyásolja a repülést. Idesorolandók a környezeti tényezők, mint pl. az időjárás, illetve a különféle anyagi tényezők, mint például a repülőtechnika.
2. **Szubjektív tényezők:** Ebbe a csoportba sorolandó az emberi vagy humán tényező. Ez magában foglal egyéni és szervezeti szinteket is, amelyek külön-külön vagy akár együttesen is hatással lehet a repülésbiztonságra.
3. **Rejtett vagy nem ismert tényezők:** Ezekre az jellemző, hogy előre nem azonosíthatók, ebből adódóan felkészülni is nehéz az ilyen kockázat elkerülésére. Nagyon sok esetben ilyen tényezők miatt kialakult repülőesemény bekövetkezésének okai ismeretlenek maradnak az érintett hatóságok számára [16][S2].

A repülésbiztonsági kockázatok kezelésére általánosságban öt fő megközelítés alkalmazható:

- elfogadni,
- kikerülni,
- kiterjeszteni,
- áthárítani,
- vagy csökkenteni a kockázat mértékét.

A kockázat mértéke határozza meg azt a biztonsági szintet, amelyet elfogadhatónak tekintünk. A repülésből teljes mértékben nem zárhatjuk ki a különféle veszélyeket. Ez azt is jelenti, hogy valamilyen kockázattal számolnunk kell. Azonban az, hogy milyen szintet fogadunk el a repülésbiztonság fenntartásához, ahhoz szükséges az előfordulható veszélyeket azonosítani és kezelni. Ez jelenti a *kockázat elfogadását*. A *kockázat kikerülése* csak abban az esetben valósulhat meg, ha ismertek a veszélyek. Ezen túlmenően megoldást jelenthet a *kockázat kiterjesztése*, aminek következtében az előforduló veszélytől térben és időben távol maradunk, így az azzal járó kockázat csökkenthető. A *kockázat áthárítása* is egy lehetséges módja a veszélyek elkerülésére. Például egy akadálnak vagy egy idegen légi járműnek ütközésének kockázata csökkenthető a fedélzeten elhelyezett összeütközést gátló rendszerek használatával. Végül a kockázat csökkentése is elvárt célkitűzés. Hiszen teljes mértékben nem lehet kockázatmentesen részt venni a repülésben, azonban a kockázat elfogadható szintre történő csökkentése kivitelezhető és elvárt [16].

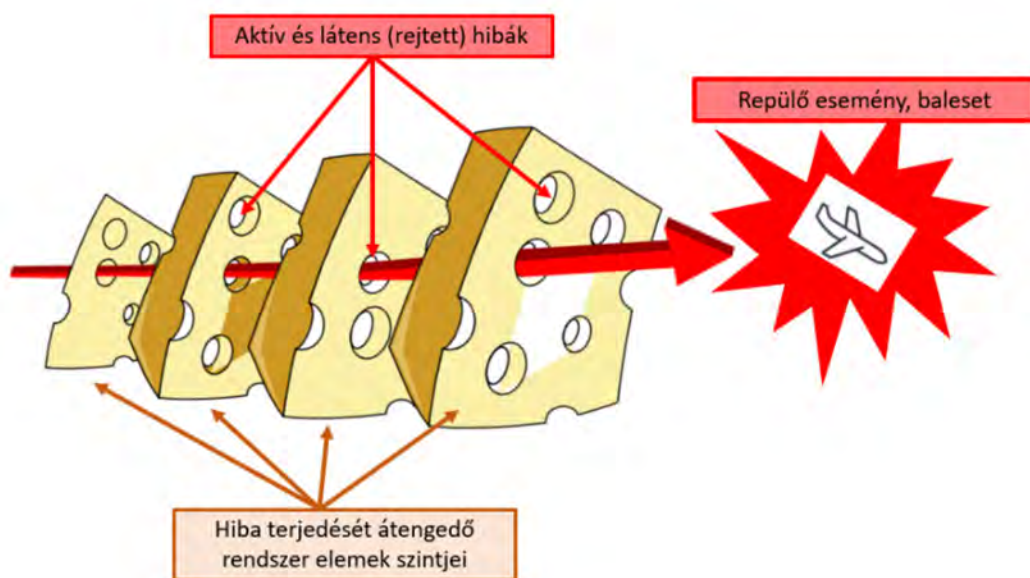
3.1.3. Légi közlekedési esemény vizsgálatához használt módszerek, modellek

Az elmúlt évtizedek folyamán számos modellt fejlesztettek ki a repülőesemények vizsgálata folytán. Ezek közül napjainkban leginkább az alábbiak használhatók:

- REASON modell – „svájci sajt” modell;
- SHELL modell.

REASON modell

A Prof. James Reason azt állítja, hogy minden baleset tartalmazza az aktív és rejtett hibákat a és látens körülményeket is. (lásd 20. ábra).



20. ábra Reason modell „svájci sajt modell”
(készítette a szerző a [17][80] alapján)

Az *aktív hibák* lehetnek olyan intézkedések, mulasztások, amelyeknek kedvezőtlen hatása van. Ezek a hibák jellemzően a repülésben résztvevő vezető személyekhez köthetők például, légiforgalmi irányítók, légijármű vezetők és az üzemeltetésben vagy a karbantartásban résztvevő repülőgép mérnökök. A látens vagy rejtett körülmények alapvetően már akkor jelen vannak a repülésben mielőtt a repülőesemény bekövetkezhetne. Miket hordoznak magukban ezek a rejtett körülmények:

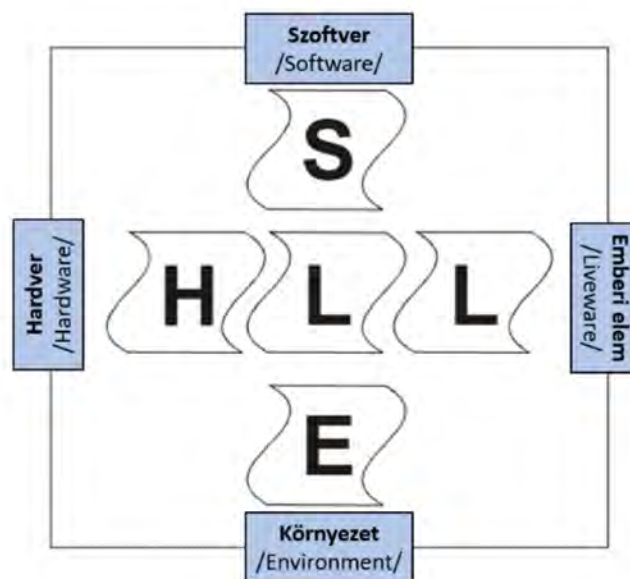
- biztonsági kultúra hiányát;
- elavult esetleg rossz berendezések, rendszerek;
- eljárásokat, eljárás rendeket;
- hibásan működő szervezeti elemeket.

Látens körülmények az alábbi okokra vezethetők vissza. Egyrészt a nem megfelelő veszélyazonosítás és a biztonsági kockázat menedzsment. Hatásának révén nem sikerül megfékezni azokat a veszélyeket, amelyek következményei a repülésbiztonsági kockázatoknak. Másrészt a szabályoktól való eltérések normalizálódása. Másképpen fogalmazva a kivétel válik szabállyá. Ebben az esetben az erőforrásokkal történő gazdálkodás nem megfelelő, például az eszközök hiánya, vagy azok állapota miatt. Ennek következtében a munkavállalók arra kényszerülhetnek, hogy feladataikat a szabályok és az eljárások megsértésével hajtsák végre.

A „szervezeti baleset megközelítés” szemlélet célja az, hogy azonosítsa és mérsékelje ezeket a látens vagy rejtett körülményeket rendszer szinten, nem pedig az, hogy helyi erőfeszítések árán minimalizálja az egyének aktív hibáit [80].

SHELL modell

A SHELL modell egy olyan repülésbiztonsági vizsgálati módszer, amely több tényező kölcsönhatásának vizsgálatán alapszik. A rendszer modell értelmezését az alábbi 21. ábra kívánja szemléltetni.



21. ábra SHELL modell
(Készítette a szerző a [79][80] alapján)

A modell az ember-gép-eljárások, szabályok-műszaki berendezések kapcsolatát vizsgálja. A szoftver tartalmazza a különféle szabályokat, képzéseket. A hardver alkotóelemei a műszaki

berendezések, rendszerek, amelyek lehetnek földi telepítésű vagy a légijármű fedélzetén elhelyezett. Az ember vagy emberek, akik a repülésben részt vesznek. Továbbá a környezet, ahol az előző három tényezőnek kell, hogy képes legyen működni.

A SHELL-modellben középén helyet foglaló Liveware (emberi tényező) és a többi négy komponens közötti eltérés emberi hibát eredményez. Ezért ezeket a kölcsönhatásokat értékelni kell a légiközlekedés rendszer minden területén.

EMBERI TÉNYEZŐ (LIVEWARE)

A modell legkritikusabb részeleme az emberi tényező. A repülés világában az embereket számos hatás éri munkaidejük alatt. Vannak ún. belső zavar tényezők, mint fáradtság, éhség stb., illetve külső környezetből származó zavar tényezők, mint pl. zaj, fény stb. Ezek külön-külön vagy akár együttesen is hatással lehetnek az emberek teljesítőképességére.

EMBERI TÉNYEZŐ - EMBERI TÉNYEZŐ (LIVEWARE – LIVEWARE)

Az emberi tényező és az egyéb interfészek közötti kapcsolat rendszer. Ebbe a kölcsönhatásba beletartozik az egyéni munka és a csapatmunka is. A különféle feladatok összehangolása, irányítása számos kihívást jelent. Ennek a kapcsolatrendszernek a támogatását célozzák meg a különféle menedzsment folyamatok, mint pl. a személyzet erőforrás menedzsment (CRM²⁹). Célja, a rendelkezésre álló erőforrások hatékony felhasználása, ami szükséges a hajózó személyzet számára, hogy minél biztonságosabban legyenek a repülések végrehajtva.

LIVEWARE - SOFTWARE (emberi tényező - szoftver)

Ennél a kapcsolatnál a szoftver egyfajta gyűjtőfogalmat képvisel. Ide sorolandók a különféle szabályozások, kiadványok, szabványos működési eljárások (SOP³⁰) törvények, rendeletek, utasítások, számítógépes programok.

LIVEWARE-HARDWARE (emberi tényező - hardver)

Az emberi tényező és hardver kapcsolata esetén beletartozik minden olyan fedélzeti egységek, berendezések (ülések, karok, kapcsolók kialakítása), amelyekkel közvetlen kapcsolatban van a személyzet. De beletartozik többek között a légiforgalmi irányítás területén a munkaadások kialakítása, a munkapultok elrendezése, ergonómiája stb.

²⁹ CRM - Crew Resource Management - személyzet erőforrás menedzsment

³⁰ SOP - Standard Operating Procedure - szabványos működési eljárások

Ide tartozik a lokális környezet, és annak a munkavállalókra gyakorolt közvetlen hatása, illetve a külső környezeti tényezők, körülmények, mint pl. időjárási körülmények [87].

A SHELL modellt alkalmazni lehet a pilóta nélküli légi járművek kockázatkezelésében is. Az öt tényező, ami a modellt alkotja és azok egymáshoz viszonyított kapcsolata itt is megtalálható (lásd 8. táblázat).

A SHELL modell öt fő összetevője	A SHELL modell alkalmazása a pilóta nélküli légi járművekre vonatkoztatva (drónok, UAV-k)	Lehetséges problémák, következmények
SZOFTVER <i>SOFTWARE (S)</i>	- Repülésirányító szoftver - Műveleti eljárások (VLOS; BVLOS³¹) stb.	- Szabványosítás hiánya a drónok szabályozásában; - Kiberbiztonsági fenyegetések stb.
HARDVER <i>HARDWARE (H)</i>	- drónok vázszerkezete; - meghajtás rendszer; - távirányító stb.	- meghajtás meghibásodása (motor és/vagy akkumulátor) - adatkapcsolat akadózása, jelvesztés stb.
KÖRNYEZET <i>ENVIRONMENT (E)</i>	- időjárási körülmények; - RF interferencia stb.	- drónok más légi járművekkel történő ütközés kockázata;
EMBERI TÉNYEZŐ <i>LIVEWARE (L – drón operátor)</i>	- drón operátor készségek, helyzetfelismerés; - döntéshozatal; - ember-gép interfész stb.	- nem megfelelő ember és drón interakció vészhelyzetekben stb.
EMBERI TÉNYEZŐ <i>LIVEWARE (L – külső emberek)</i>	- koordináció a légiforgalmi irányítással (ATC); - interakciók más légtérhasználókkal (pilóta által vezetett repülőgépek) stb.	- félreértés a drón operátor és az ATC között; stb. - lakosság adatvédelmi és etikai aggályai stb.

8. táblázat A SHELL modell alkalmazása a pilóta nélküli repülésben
(készítette a szerző a [88] alapján)

³¹ BVLOS - Beyond Visual Line of Sight - Látótávolságon túli repülés

Az emberi tényező szerepe a pilóta nélküli repülésben is jelentős. Bár fizikailag nincs ember a légijárművek fedélzetén, azonban a drónt kezelő személyek hibázási lehetősége döntően befolyásolja a repülés biztonságos végkimenetelét:

- rossz helyzetfelismerés-és döntési képesség;
- repülés vezérlő szoftver adatok nem ismerete rossz beállítása vagy félreértelmezése;
- téves rendszerbeállítások.

A fenti esetek elkerülhetők lehetnek megfelelő képzéssel, ismeretanyag frissítő képzés, valamint gyakorlati jártasság. Továbbá repülések előtt ellenőrző lista (checklist) végig követése, amivel elkerülhetők a téves rendszerbeállítások és az ebből adódó problémák.

A hardveres korlátok is befolyásolhatják a repüléseket. Például akkumulátor állapota, élettartama, érzékelők megbízhatósága, GPS adatok pontossága. Ezekre megoldást jelenthet különböző redundás rendszerek alkalmazása, például egy magassági adat több rendszeren keresztül történő mérése és azok összevetése. A környezet, amelyben a drón repül szintén hatással lehet a pilóta nélküli légijárműre. Az időjárási körülmények, vagy akár interferencia kialakulása a mesterséges és természetes tereptárgyak által, ami adatkapcsolat veszteséget, ebből adódóan irányítás elvesztését eredményezheti a légijármű felett.

3.1.4. Repülésbiztonsági Irányítási Rendszer (Safety Management System - SMS)

Az SMS³² olyan repülésbiztonságot támogató folyamat rendszer, amely a biztonsági kockázatok hatékony azonosítása és kezelése révén biztosítja a légi járművek biztonságos üzemeltetését. A rendszer célja az elfogadható biztonság folyamatos fenntartása, amely a veszélyek azonosítása, az adatok gyűjtése és elemzése, valamint a biztonsági kockázatok folyamatos értékelésén keresztül valósul meg. Az SMS célja, hogy a repülésbiztonsági kockázatokat prediktív módon megfékezze vagy mérsékelje, lehetőség szerint minimálisra csökkentse mielőtt azok különböző repülőeseményekhez vezetnének.

A biztonságirányítási rendszer különféle rendszerelemeket és szinteket foglal magában. Magában foglal műszaki rendszereket, humán erőforrás menedzsmentet, különféle üzemeltető és karbantartó szervezeteket stb. Együttes működésüknek a célja a repülésbiztonság elfogadható értéken történő tartása. Az SMS működésének folyamata alapvetően négy fő pilléren áll (lásd 22. ábra) [89].

³² SMS - Safety Management System - Repülésbiztonság Irányítási Rendszer



22. ábra Biztonságirányítási rendszer alappillérei
(készítette a szerző az [89] alapján)

Az SMS első alappillére a „*Policy*”, vagy más néven a vállalat biztonság politikája. Ez magában foglalja a személyzet felelősségének körét, feladatait. Tartalmazza a biztonsági kockázatokat, azokra tett intézkedéseket egyaránt. Fontosnak tartja a vállalat vezetése, hogy a biztonságirányítási tevékenység a szervezeten belül is elérhető legyen az érintettek számára.

A másik alappillér a *Risk management* vagy kockázatkezelés. A kockázatkezelésnek a folyamata minden esetben a veszélyek beazonosításából, majd ezt követően a kockázatcsökkentő intézkedések kidolgozásából, majd azt követően a kidolgozott biztonsági kockázatok ellenőrzéséből és legutolsó lépésként a biztonsági intézkedések hatásainak a nyomon követéséből áll. A kockázatkezelés alapgondolata, hogy egy esemény súlyossága és bekövetkezésének valószínűsége minimalizálható. A siker eléréséhez fontos a szervezeten belüli folyamatos kommunikáció. Ennek előfeltétele az operatív rendszerek megismerése, amelyek az alábbiak:

- szervezeti struktúrákat;
- eljárásokat, folyamatokat;
- emberi tényezőt egyéni és szervezeti szinten;
- berendezéseket, illetve különféle létesítményeket.

Ide tartozik a hardver, mint pl.: repülőgépek, szoftverek, emberek és emberek-rendszer közötti kapcsolatrendszer, kölcsönhatásai.

A harmadik pillére az SMS-nek, a „*Safety Assurance*” vagy biztonságkezelési folyamat. A légitársaságok szervezeteinek ki kell alakítaniuk a biztonsági teljesítmény nyomon követését szolgáló mérési folyamatokat annak érdekében, hogy képesek legyenek fenntartani az elvárt biztonsági szintet. Megállapításra kerülnek különféle biztonsági teljesítménymutatók, amelyek események számából, jelentések számából és ezek gyakoriságát hivatottak kifejezni. Azonban ezek a mutatók szervezetenként eltérőek lehetnek, hiszen nem lehet mindenki számára egységesen megfeleltetni ezeket. Ilyenek lehetnek az alábbiak:

- repülőesemények száma 1000 repülési óra/ciklus;
- auditoknak és azok megállapításainak a száma;
- beérkezést követően a feldolgozott repülő események jelentéseinek a száma;
- a napi üzemeltetés során bekövetkezett jelentéseknek a száma.

A negyedik pillér a „*Safety Promotion*” vagy biztonság fejlődését előirányzó folyamat, amelyek biztosítják, hogy a légitársaságok személyzet képzett és kompetens legyen biztonságirányítási feladataik ellátására [53].

3.1.5. Kockázatelemzési folyamat

Ahhoz, hogy elfogadható mértékűek legyenek a repülésben előforduló különféle kockázatok, ahhoz meg kell vizsgálni őket külön-külön. Ezt szolgálja az ICAO kockázatelemzési folyamata, ami az 23. ábrán látható [79].



23. ábra Kockázatelemzési folyamat
(készítette a szerző a [79] alapján)

A legelső lépés minden esetben a veszélyforrások azonosítása, ahonnan származtathatók a veszélyek. Ebbe beletartoznak eszközök, rendszerek, különféle eljárások, szervezetek. Majd fontos megvizsgálni, milyen gyakran fordulhat elő, milyen gyakorisággal kell velük számolni. Ezt követően különbséget kell tudni tenni a veszélyek beazonosításakor a súlyosságukról. Majd dönteni kell arról, hogy elfogadható-e a kockázat mértéke, azaz eleget tesz a különféle biztonsági kritériumoknak, avagy nem. Amennyiben igen, akkor elfogadhatónak lehet minősíteni. Viszont amennyiben nem, akkor szükséges csökkenteni a kockázat mértékét.

A veszélyforrások okozta kockázatok analizálására a kockázatkezelési mátrixot érdemes használni. A kockázatkezelés elsődleges célja, a kockázat mértékének, súlyosságának a meghatározása. A kockázatelemzési mátrixot csak az események rangsorolására használják, és annak eldöntésére, hogy el kell-e fogadni a kockázatot, vagy éppen csökkenteni kell azt a kockázatok mérséklésével (lásd 24. ábra).

VALÓSZÍNŰSÉG / GYAKORISÁG	KOCKÁZAT SÚLYOSSÁGA				
	Végzetes	Súlyos	Jelentős	Kevésbé jelentős	Elhanyagolható
A	B	C	D	E	
GYAKORI 5	5A	5B	5C	5D	5E
ALKALOMSZERŰ 4	4A	4B	4C	4D	4E
RITKA 3	3A	3B	3C	3D	3E
VALÓSZÍNŰTLEN 2	2A	2B	2C	2D	2E
RENDKÍVÜL VALÓSZÍNŰTLEN 1	1A	1B	1C	1D	1E

	ELFOGADHATÓ ÉRTÉK
	INTÉZKEDÉST IGÉNYLŐ ÉRTÉK
	ELFOGADHATATLAN ÉRTÉK

24. ábra ICAO kockázatelemzési mátrix
(készítette a szerző a [22][79] alapján)

Három fő kategóriába – elfogadható érték, intézkedést igénylő érték, illetve elfogadhatatlan érték – sorolandók a különféle kockázatok. Attól függően, hogy milyen súlyos az adott kockázat típus, annak megfelelően kerül kategorizálásra, amelyet szám-érték kombinációval jelölnek (pl.: 2B – súlyos, valószínűtlen). Másképpen fogalmazva, a piros színnel jelzett értékek magas kockázattal járó, a sárga közepes kockázattal járó (vagy további intézkedést igénylő kockázatok) és a zöld pedig alacsony kockázattal járó tényezők [22][79].

3.1.6. Pilóta nélküli légi járművek alkalmazásának főbb kockázat típusai

A pilóta nélküli légi járművek és a hagyományos légi járművek egy légtérben történő működésük során a drónok alapvetően háromféle kockázatot jelentenek:

- egy idegen légi jármű megközelítése;
- összeütközés egy másik légi járművel (ami a veszélyes megközelítésből származtatható súlyosabb repülőesemény);
- műszaki rendszerek megbízhatósági szintjéből fakadó potenciális problémák [22].

Egy drón művelet földi-és légi kockázatot hordoz magában. Légi kockázatok – idegen légi jármű megközelítése, esetleg összeütközés vele – csökkentése érdekében a drónműveleteket a rendelkezésre álló légtérben, elkülönítve kell végrehajtani. Drónok alkalmazásával földi kockázatokkal is számolni kell. A különböző földi létesítményeknek és személyeknek biztonságos távolságban kell lenniük a különböző drón műveletektől. Így elkerülhetők, vagy legalábbis minimálisra csökkenthetők ezek a fajta kockázatok [22].

A drónok alkalmazása – főleg, ha nem jogszerűen történik – számos kockázatot jelenthet a környezetükre különösen, amikor nem tartják be az előírásokat. Az egyik tipikus veszélyhelyzet az úgynevezett „near miss” (airprox): ez olyan légi szituációt jelöl, amikor egy légi jármű egy másikhoz olyan közelségbe kerül, amely már veszélyezteti annak biztonságos repülését. Ezért a drónok és más légi járművek közötti ütközések elkerülése érdekében az egyik legfontosabb ezáltal elvárt követelmény az lenne, hogy a drónok ne repüljenek ki a számukra engedélyezett légtérből. A fenti követelmény betartásával minimalizálni lehetne egy másik idegen légi jármű veszélyes megközelítését, elkerülve ezzel a különböző veszélyes helyzeteket, amelyek balesetek kialakulásához vezethetnek. Fontos tudni, hogy az ütközés hiányában ezek a légiközlekedési események súlyos biztonsági eseménynek minősülnek, amelyek megtörténtét követően szigorú kivizsgálás történik.

Amennyiben minimalizálni szeretnénk annak esélyét, hogy egy polgári drón (hobby vagy kereskedelmi) megközelítsen egy másik légi járművet, ahhoz elsőként a repülőterektől és annak közvetlen környezetétől kell őket távol tartani. Hiszen a drónok ebben a környezetben történő működtetése a legnagyobb veszélyforrást jelentik a hagyományos repülőgépekre és kiszolgáló környezetükre egyaránt.

A pilóta nélküli légi járművek (UAV-k) működése során az egyik legjelentősebb kockázati tényező az, amikor egy drón összeütközik egy másik légijárművel. Ez a forgatókönyv a repülés során előforduló legveszélyesebb helyzetet képviseli. Az ütközés hatásait, valamint annak lehetséges következményeit a következő fejezetben részletesen tárgyalom. A pilóta nélküli légi járművek (UAV-k) működésével kapcsolatos harmadik jelentős kockázati tényező a fedélzeti és földi műszaki rendszerek megbízhatóságának szintje. A potenciális műszaki meghibásodások jelentős kockázatot jelenthetnek a repülési folyamat során. Ezen kockázatok részletes ismertetésére a következő fejezetben kerül sor.

3.2. A hagyományos- és a pilóta nélküli légijárművek veszélyes megközelítésének fokozatai

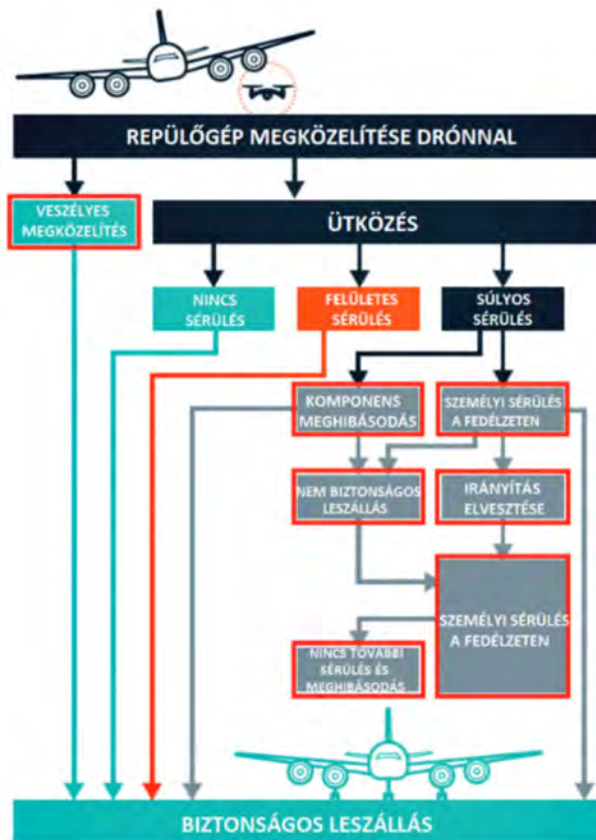
A hagyományos és pilóta nélküli légijárművek közös légtérben történő biztonságos működéséhez számos feltételnek kell teljesülnie.

A közöttük történt repülőesemények azt mutatják, hogy a találkozásuknak eltérő következményei lehetnek. Ezeknek az eseményláncolatoknak a súlyossága attól függ, hogy a drón csupán megközelített egy másik repülőgépet, vagy ténylegesen ütközött-e vele.

Az Egyesült Királyság Polgári Légügyi Hatóság egy kutatásában összefoglalta, hogy milyen lehetséges forgatókönyvek alakulhatnak ki pilóta nélküli légijárművek és hagyományos légijárművek közvetlen vagy közvetett találkozása esetén. A kutatás célja annak felmérése volt, hogy milyen veszélynek van kitéve egy légijárművezető – ezzel együtt a teljes személyzet és az utasok – ha egy UA veszélyes közelségbe kerül a repülőgéphez. E találkozási esetek különböző típusai láthatók az 25. ábrán láthatók.

Az ábrán látható, hogy alapvetően négy lehetséges forgatókönyv valósulhat meg egy ilyen találkozás következtében. A veszélyes megközelítésnek, valamint az ütközés mértékének és annak hatásának is különböző szintjei vannak.

Már egy egyszerű megközelítés – a legenyhébb eset – is halálos kimenetelű légibalesetet eredményezhet. Az ütközés súlyosságát az határozza meg, hogy a drón az esemény bekövetkezésekor a repülőgép mely szerkezeti elemével kerül érintkezésbe valamint, hogy az ütközés milyen további hatással lesz a repülőgép működőképességére, valamint annak levegőben maradására.



25. ábra Hagyományos-, és pilóta nélküli légi jármű összeütközésének scenáriói
(készítette a szerző az [S2] alapján)

A kutatás során megállapították, hogy egy esetleges ütközés legnagyobb valószínűséggel a pilóta által vezetett repülőgép alábbi részeit érinti. Ezek a következők:

- szélvédő, orrkúp;
- hajtóművek, légsavarak;
- szárnyak és a vízszintes vezérsíkok belépőelei;
- repülésvezérlő kormánysszervek.

Bármelyik fenti rész sérülése visszafordíthatatlan folyamatokat indíthat el, ami részben vagy egészében anyagi kárral, személyi sérüléssel, vagy akár halálos áldozattal járhat [S2].

3.3. Drónos repülőesemények és incidensek vizsgálata

Egy pilóta nélküli légi jármű által okozott légiközlekedési esemény bekövetkezését számos a tényező befolyásolhatja; ezek a tényezők az alábbi három csoportba sorolhatók:

- emberi tényező (szubjektív tényező)
- légi jármű és rendszerei (objektív tényező);

- természeti vagy környezeti tényezők, repülési szabályok eljárások (objektív tényező) [S2].

Ha a fenti csoportosítást tovább elemezzük, azt tapasztaljuk, hogy e három kategória mögött számos kisebb-nagyobb tényező rejtőzik. A pilóta nélküli légi jármű által okozott légiközlekedési esemény létrejöttéhez többféle tényező járulhat hozzá:

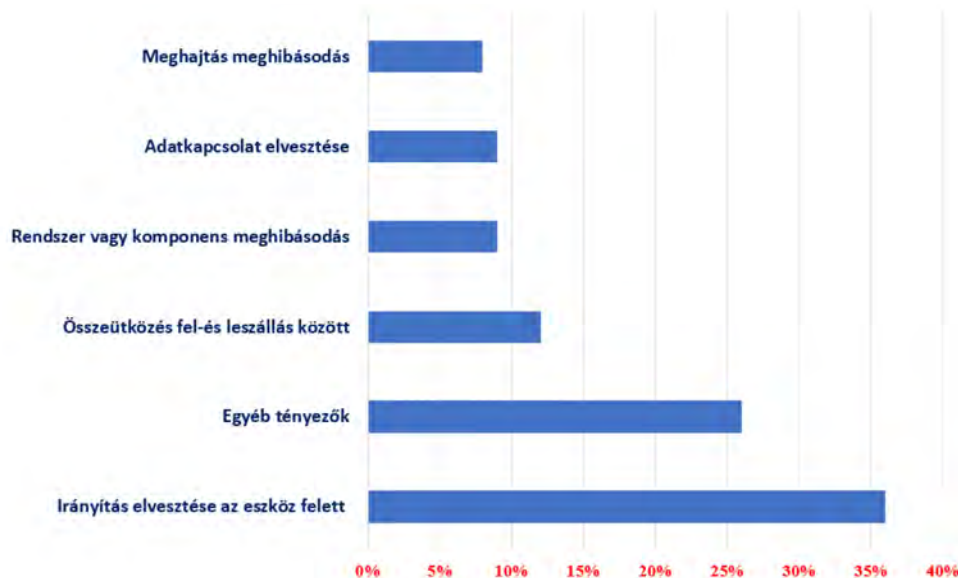
- környezeti tényezők: repülési helyszín, időjárás;
- drón irányító személy jártassága: gyakorlati jártasság, képesítések megléte;
- drón műszaki állapota, üzembiztonsága, az eszköz karbantartottsága, rendszerek megbízhatósága;
- egyéb nem várt tényezők: pl.: idegen légi jármű váratlan megjelenése a repülés folyamán stb.

A világon számos országban – Európai Unió tagországai; Amerikai Egyesült Államok; Egyesült Királyság – a pilóta nélküli légi járművek egyre fokozódó jelenlétük miatt hozzájárulnak a légiközlekedési események, balesetek kialakulásához. Ezt igazolja az a közlemény is, amely szerint 2021-ben az Egyesült Királyságban a jelentett repülőesemények – beleértve a veszélyes megközelítéseket és légibaleseteket – körülbelül egynegyedét (26%-át) pilóta nélküli légi járművekhez kapcsolódó incidensek tették ki. Ez azt jelenti, hogy abban az évben a szervezet összesen 746 repülőeseményt vizsgált ki, amelyek közül közel 191 eset köthető volt pilóta nélküli légi járműhöz. 2022-ben ez a szám már 790 volt. A 2023-as jelentésből azonban nem derül ki a pilóta nélküli légi járműhöz köthető eseteknek a száma. Ami viszont közös a vizsgálat tárgyát képező évek adataiban – ebből adódóan a jelentésekben – az az, hogy különböző okok játszottak szerepet az UAS balesetek kialakulásában. A 26. ábra azokat a különböző tényezőket szemlélteti, amelyek a balesetekhez vezettek.

Az ábrán az alábbi tényezők kerültek szemléltetésre:

1. *LOC-I - Loss of control in flight - Irányítás elvesztése a légi jármű felett;*
2. *SCF-NP - System or component failure (non powerplant) – Nem hajtómű meghibásodás - Rendszer, vagy komponens meghibásodás;*
3. *SCF-PP - System or component failure (powerplant) - Hajtómű meghibásodás - Rendszer, vagy komponens meghibásodás;*
4. *CTOL - Collision with obstacle during takeoff and landing - Összeütközés fel-és leszállás közötti időtartamban;*

5. *U-LINK - UAS loss of data link - Légijármű adatkapcsolat elvesztése;*
6. *All other factors - Egyéb tényezők.*



26. ábra Pilóta nélküli légijárművek baleseteit befolyásoló tényezők
(szerkesztette a szerző a [90] alapján)

A drón balesetek legfőbb okai között „az irányítás elvesztése az eszköz felett” tényező volt, a leggyakoribb, aminek következtében irányíthatatlanná vált a légijármű különböző súlyosságú repülőeseményeket idézett elő. További érdekessége a tanulmánynak, hogy a 26%-os súlyozással szereplő egyéb vagy nem ismert tényező jelentős részét eredményezte még az események bekövezésének, amelynek részletei nem ismertek [90].

Az Európai Unió Repülésbiztonsági Ügynökség 2023-as jelentése alapján a 2023-as évben az alábbi esetszámok voltak, amiket pilóta nélküli légijárművek okoztak:

- Halálos kimenetelű esemény: 1 eset;
- Nem halálos kimenetelű esemény: 9 eset;
- Súlyos következményű esemény: 2 eset.

A 12 eset közül kettő esetében volt egyéb légijárművel (Bombardier BD500 és Airbus A320) való érintettség. Az események közül a halálos és egy súlyos sérüléssel járó baleseteket a földön tartózkodó személyek szenvedték el [30].

3.4. Hazai és nemzetközi esettanulmányok vizsgálata

Az utóbbi években a pilóta nélküli légijárművek egyre fokozottabb jelenléte tapasztalható a környezetünkben, beleértve a lakókörnyezetünket is. Alkalmazásuk békeidőben és háború sújtotta övezetekben egyaránt egyre elterjedtebb.

Napjainkban sokat lehet hallani a híradásokban a világ számos pontján zajló háborús konfliktusokról, melyekben egyre gyakoribb a drónok alkalmazása.

A továbbiakban kizárólag békeidőben bekövetkezett eseteket vizsgálunk részletesebben. Ha egy pilóta nélküli és egy pilóta által vezetett repülőgép egy adott helyen és időben megközelíti egymást, annak következtében különböző súlyosságú események alakulhatnak ki.

A világon számos eset igazolja azt (ennek alátámasztása a következő fejezetben), hogy a drónok egyre növekvő elterjedése potenciális veszélyforrást jelent a légiközlekedésre, főként a légtérben közlekedő egyéb légtérfelhasználók számára. Mivel a drónok gyakran engedély nélkül, sokszor kiszámíthatatlanul jelennek meg a légtérben, így komoly veszélyt és egyben kockázatot jelentenek a légtérben tartózkodó légi járművekre [S2].

3.4.1. Esettanulmány I. - Súlyos „drón-helikopter” repülő esemény az M60 autópálya mellett, Szajk térségében

Az esettanulmányok közül elsőként a 2018. szeptember 19-én történt magyarországi esetet vizsgálom meg részletesen, amelyet súlyos repülőeseménynek minősítettek. A súlyos repülőesemény érintettjei DJI Phantom 4 típusú pilóta nélküli légijármű, valamint egy MD902 típusú rendőrségi helikopter (lásd 27. ábra). Fontos hangsúlyozni, hogy ezt az eseményt nem szándékos, előre eltervezett rendzavarás okozta.

Esemény rövid ismertetése:

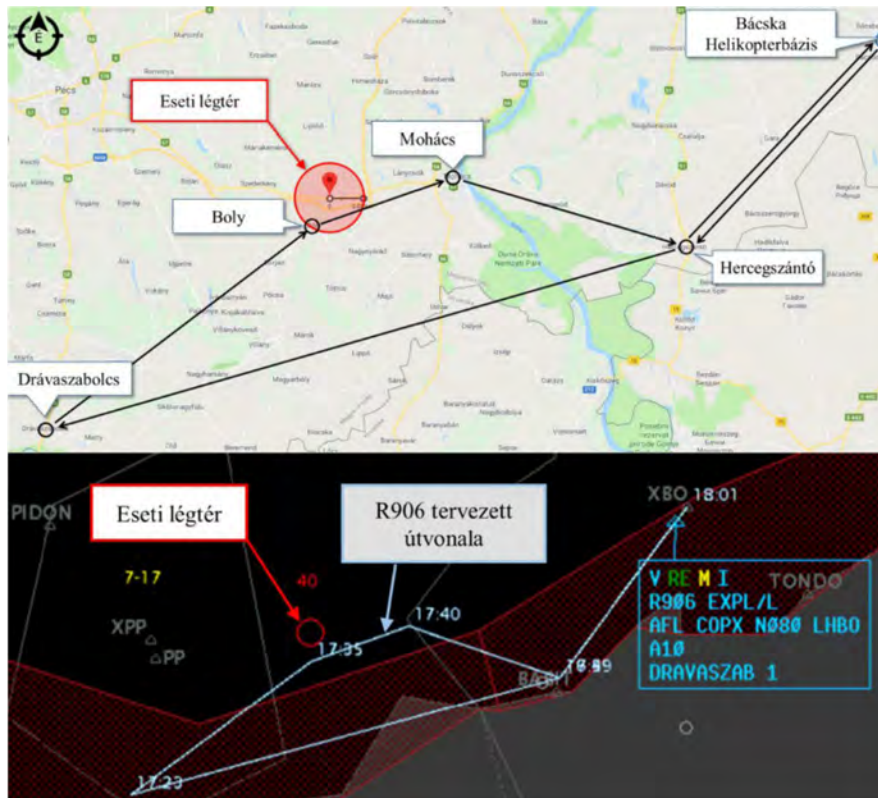
Az esemény napján egy DJI Phantom 4 típusú drón repült a kezelője által igényelt és számára engedélyezett eseti légtérben Szajk település közelében. A drón kezelője este fél hét után észlelte, hogy egy rendőrségi helikopter (lásd ábra) tart az általa igényelt eseti légtér felé. Mintegy 1500 láb (457 méter) magasan repült a drón az esemény időpontjában. Kezelője megpróbálta kikerülni a helikopter útját, azonban a helikopter által keltett légáram elsodorta a drónt, ami ennek következtében kisebb mértékben megrongálódott.



27. ábra A súlyos repülőesemény érintettjei
(készítette a szerző a [91] alapján)

Tények az esemény kialakulásában

A drónrepülést igénylő személy az esemény napján a reggeli órákban aktiválta az eseti légteret, és a nap folyamán többször repült a kijelölt terület felett. Ezzel egy időben az R906 hívójelű rendőrségi helikopter a déli határszakasz és az M60 as autópálya nyomvonalának ellenőrzését végezte (lásd 28. ábra).



28. ábra Helikopter útvonalának megjelenítése a légiforgalmi tájékoztató radarképernyőjén

(készítette a szerző a [91] alapján)

A fenti ábrán látható, hogy a légiforgalmi irányítók által használt MATIAS rendszerben megjelenített adatok eltérnek a valós koordinátáktól. Ennek oka, hogy az igényelt fok-perc-másodperc koordináták másodperc értékeit törlik, ami eltérést okoz az igényelt légtér és a MATIAS-ban rögzített koordináták között.

Meteorológiai adatok

Az érintett napon a Kárpát-medencében napsütéses időjárás volt, a hőmérséklet napi középértéke 20,2 fok volt. A Pécs-Pogány Repülőtér és repülőszemélyzetek részére kiadott időjárási táviratok szerint a látástávolság reggeltől az esti órákig nem csökkent 10 km alá. Az esemény időpontjában a pécsi meteorológiai adatok szerint a szél gyenge, 3-4 m/s erősségű volt.

Engedélyek, képzettség megléte

A drónpilóta rendelkezett a szükséges engedélyekkel, illetve több éves drón kezelői tapasztalattal. Azonban a jelentés nem említi, hogy rendelkezett-e a drón repültetéséhez szükséges (A1-A3) drónkezelői vizsgával.

Egyéb, kiegészítő adatok

Az eseményről nem készült légifelvétel sem a drón, sem pedig a helikopter fedélzetéről. Továbbá az helikopteren nem volt fedélzeti adatrögzítő rendszer.

Károk ismertetése

A Phantom 4 drón kisebb mértékben megrongálódott, amelyet az É 45.977104°, K 018.535954° koordinátájú fás, bokros helyen talált meg a tulajdonosa. Az elkerülő manővernek köszönhetően a helikopterben nem keletkezett kár.

A vizsgálat folyamán megállapított tények

- A bizottság megállapította, hogy a drónpilóta ismerte a rá vonatkozó szabályokat és aszerint járt el a drónjának repültetése folyamán. A helikopter realizálását követően azonnal süllyedési manőverbe kezdett.
- A drónpilóta rendelkezett a drón típusához szükséges felelősségbiztosítással.
- A bizottság nem zárta ki annak a lehetőségét, hogy az eseti légtér megléte egyfajta védettség érzését kelthette a drónpilótában és keltheti egyéb más hasonló esetekben is.
- Állásfoglalásuk szerint az eseti légtér miatti védettség érzetét kelti és a folyamatos figyelemmegosztás miatt a pilóta nélküli légijármű kezelője kevesebb figyelmet fordíthat a légterébe jogosan vagy jogosulatlanul berepülő más légijárműre, ami hozzájárulhat egy esemény lehetséges bekövetkezéséhez.
- Az R906 lajstromjelű légijármű parancsnoka elmondta, hogy repülésre történő felkészüléshez a személyzet beszerezte az eseti légterek listáját, de az érintett eseti légteret a felkészüléskor a személyzet nem vette észre, így azt az útvonal tervezésekor nem vették figyelembe.
- Magyarországon nincs az illetékes szolgálat által kiadott (hivatalos) olyan vizuális térképes megjelenítés, amely a felkészülő pilótáknak az aktív és inaktív eseti légtereket is megmutatná.

Eset kivizsgálásából levont következtetések:

- a légiforgalmi szolgáltató rendszere nem tette lehetővé a légijárművek megfelelő szintű tájékoztatását;
- az R906 helikopter személyzetének figyelmét elkerülte az érintett eseti légtér kijelölése a repülésre történő felkészülés során.

Biztonsági ajánlások

A bizottság megállapította, hogy az eseti légterek megjelenítésére alkalmazott eljárás nem biztosítja a rendelkezésre álló adatok szerinti tájékoztatás lehetőségét a munkaadóknak, amely jelentős repülésbiztonsági kockázatot hordoz magában.

Ennek következtében az alábbi javaslatokkal állt elő a vizsgálat végén:

1. *„HungaroControl Zrt³³ a légiforgalmi szolgálatok munkaadóinak az eseti légterek megjelenítésére olyan rendszert alakítson ki, amelyben biztosított az ezen légtereket engedélyező határozatokban szereplő koordináta pontosság változatlan felhasználása”*
2. *„a HungaroControl Zrt alakítson ki és működtessen olyan hivatalos, bárki által elérhető térképes felületet, amely az aktív és a még nem aktív eseti légtereket is megjeleníti”*
3. *„a Készenléti Rendőrség Különleges Szolgálatok Igazgatósága Légirendészeti Szolgálatának, hogy dolgozzon ki és vezessen be olyan eljárásokat, amelyek a repüléseik végrehajtása során csökkentik az ismert és nem ismert eseti légtérbe történő berepülés veszélyeiből adódó következményeket”*
4. *„a Magyar Honvédség részére, hogy dolgozzon ki és vezessen be olyan eljárásokat, amelyek a repüléseik végrehajtása során csökkentik az ismert és nem ismert eseti légtérbe történő berepülés veszélyeiből adódó következményeket” [91]*

Az eseményből levont következtetések: A vizsgálat rámutat, hogy még a szabályok maradéktalan betartása mellett is kialakulhat veszélyes helyzet a légiközlekedésben. Emellett igazolódott, hogy az emberi mulasztás a legtöbb légiközlekedési eseményhez hozzájárul; jelen esetben is egy súlyos minősítésű repülőesemény következett be emberi hiba miatt.

Az eset két módon is nagy eséllyel elkerülhető lett volna:

- Egyrészt, hogy a drón rendelkezik olyan fedélzeti jeladóval (Remote ID; ADS-B stb.) aminek használatával láthatóvá válhatott volna a helikopter személyzet műszerfalán;
- Másrészt, ha a drón rendelkezett volna összeütközést elkerülő fedélzeti villogóval, akkor feltehetően nagyobb eséllyel képesek lettek volna a személyzet tagjai észlelni a drónt, ennek következtében korábban megtörténhetett volna a kitérő manőver, amely a keletkezett károk minimalizálását vagy akár nullára redukálását eredményezte volna.

³³ Magyar légiforgalmi szolgáltató

3.4.2. Esettanulmány II. - Drón incidensek, a Gatwicki eseménysorozat

Egy másik eset, amely felhívta a légiközlekedésben résztvevők – köztük a légügyi hatóságok – figyelmét, a Gatwicki drón incidens-sorozat, ami 2018 december 19-20 között történt.

A magyarországi esettel szemben ennél az eseménysorozatnál megállapították, hogy az elkövetők szándékosan zavarták meg a rendet és a repülőtér működését. A helyzet súlyosságát mutatja, hogy a rendőrség mellett a hadsereget is be kellett vetni az incidensek kezeléséhez. A helyzet súlyosságát az is mutatja, hogy a rendőrség mellett be kellett vetni a hadsereget is az események kezeléséhez. Az eseménysorozat több mint 24 órán át tartott; ezalatt többször is drónok repültek át a repülőtér felett. Az észlelések száma meghaladta a százat. A hatás példátlan volt: mintegy 760 járatot és 110 000 utast érintett közvetlenül. A rendkívüli helyzetet jól szemlélteti, hogy a repülőtér vezetősége arra kérte az érintett időszakban utazni szándékozókat, folyamatosan érdeklődjének járataik felől, és lehetőség szerint foglalják át azt egy későbbi időpontra. A repülőtéren szerdán este 21:00-kor felfüggesztették a le- és felszállásokat. Csütörtök hajnalban rövid időre ismét megnyitották, de egy újabb drónészlelés miatt ismét be kellett zárni. A gazdasági következmények is súlyosak voltak: az összköltséget több mint 50 millió angol fontra becsülik. Ebbe beleszámolták a légitársaságok veszteségeit, a repülőtér-üzemeltető többletköltségeit, valamint a bevont hatóságok és a hadsereg túlóráinak költségeit is.

Az eseménysorozat kivizsgálása után a szakhatóságok az alábbi tanulságokat, ajánlásokat fogalmazták meg:

- Repülőtereken szükséges drónfelderítő technológiákat alkalmazni.
- Az akkori drónszabályozás lemaradt a technológiai fejlődés mögött.
- Kis méretű légitárművek (drónok) váratlan megjelenése is okozhat komoly fennakadásokat.

Az eset egyértelműen rávilágított arra a tényre, hogy a repülőterek védelme drónok ellen nélkülözhetetlen a biztonságos működésükhöz [92][93].

Ez az eset azonban nem egyedülálló. 2020. február 3-án Európa egyik legforgalmasabb repülőtere, a madridi Barajas repülőtér is működésképtelenné vált a légtérben tapasztalt dróntevékenység miatt [S3].

Az eseménysorozatból levont következtetések: Az incidensek jól megmutatták, milyen súlyos zavarokat okozhat a repülőtér mindennapi működésében egy szándékos drónos rendzavarás. Az esetek igazolták azt is, hogy már a kis méretű drónok is fennakadásokat okozhatnak, ha

tiltott zónában repülnek. Továbbá rámutattak, hogy a repülőtereken szükség van drónok elleni védelmi rendszerekre az ilyen esetek elkerülése érdekében.

Összegzett következtetések: Megállapítható, hogy a gatwicki eseménysorozat alapvetően eltér a korábban ismertetett magyarországi esettől. A legfontosabb különbség, hogy míg ez utóbbi esetben a szándékos zavarkeltés, rendzavarás volt a cél, addig a korábbi esetben nem a károkozás vagy fennakadás volt a cél, ettől függetlenül még is bekövetkezett e repülőesemény.

Azonban annak érdekében, hogy a jövőben az ilyen esetek ne fordulhassanak elő, mindenképpen szükséges "láthatóbbá tenni" a drónokat az égbolton a többi légi jármű és a légiforgalmi irányítás számára. Emellett szükséges a kritikus infrastruktúrák – különösen a polgári és katonai repülőterek – drónok elleni védelmi rendszerének kiépítése.

3.5. Pilóta nélküli légi járművek előfordulási gyakoriságának vizsgálata

A pilóta nélküli légi járművek észlelési esetszámai világszerte – így Európában is – folyamatosan növekednek. Ennek hatása tágabb értelemben számos iparágra kihat: a légiszállítás akadályoztatása esetén akad az utas- és áruszállítás, ami jelentős többletköltséget okoz az érintett vállalatoknak.

A drónok és felhasználók tényleges számáról nincsenek pontos adatok, csak becslések. Valós számukat meghatározni rendkívül nehéz; véleményem szerint ennek hátterében elsősorban üzleti és egyéni okok állnak, például:

- a drónok beszerezhetők különböző hazai és nemzetközi vállalatoktól, webshop-okból, a vásárlás nem jár hatósági regisztrációval;
- lehetőség van egyedi drónokat készíteni, a hozzá szükséges alkatrészeket pedig megrendelni;
- regisztráció általában kötelező, de mégsem regisztrál mindenki, pedig köteles lenne (későbbiekben részletesen adatokkal alátámasztva).

A gyártók által eladott drónok, illetve a regisztrált drónok számából (lásd később) hozzávetőleges képet kaphatunk arról, mekkora nagyságrendben használják őket világszerte. A kereskedelmi adatok jellemzően nem publikusak és üzleti okokból nehezen hozzáférhetők. Az EU-s és EU-n kívüli országok légügyi szervezetei nyilvántartják, és időnként közzé is teszik a regisztrált drónok számát.

Drónok és drón üzemeltetők hazai és nemzetközi számadatai

Ebben a fejezet részben a hazai, és külföldi országokban drónoknak és drónoperátoroknak a számadatait kutattam és gyűjtöttem össze.

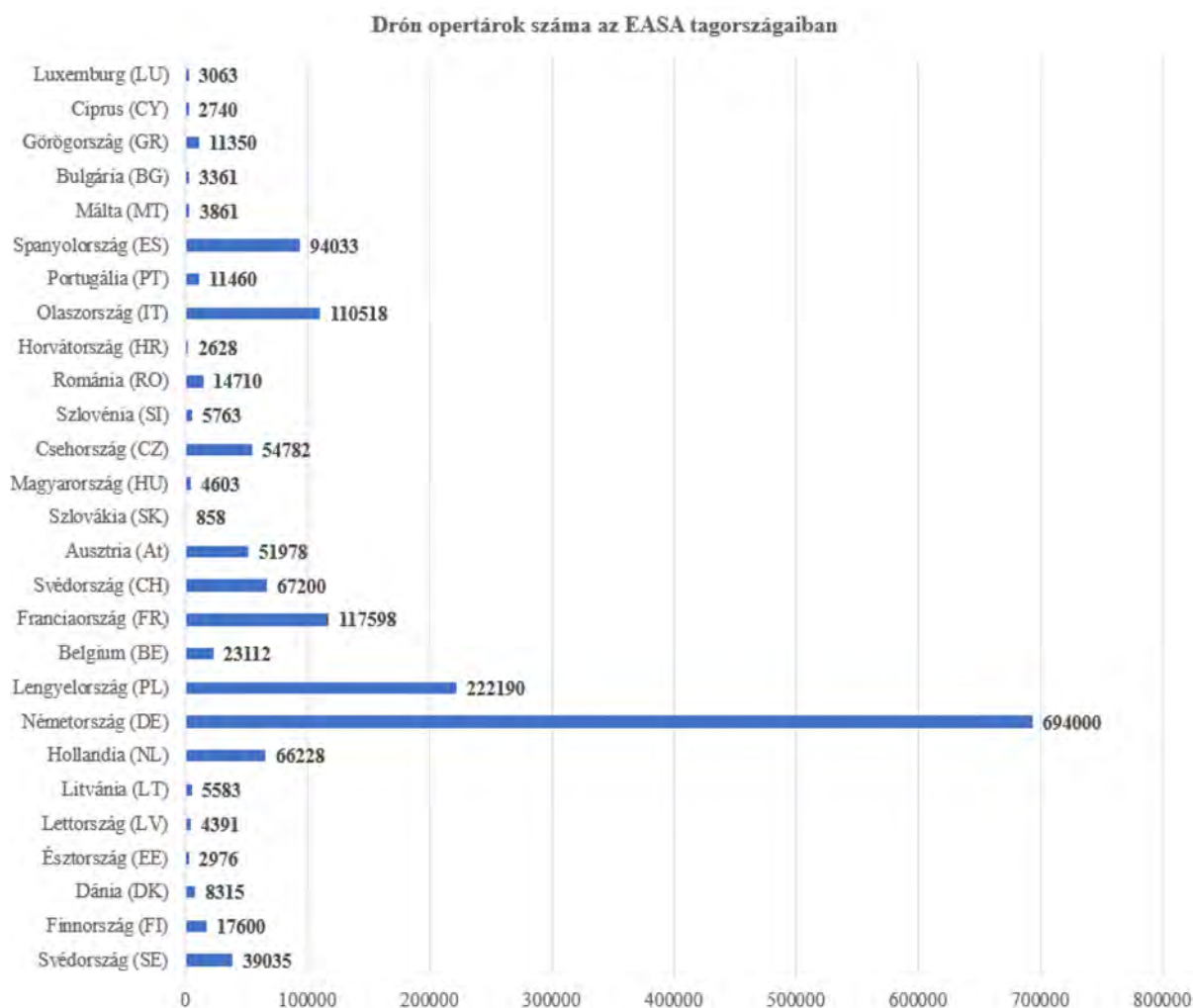
A magyarországi adatokat megkeresésemet követően kérésemre az Építési és Közlekedési Minisztérium Légügyi Felügyeleti Hatósági Főosztály bocsátotta rendelkezésemre. Az adatok 2025. január 25-ig nyilvántartott és regisztrált adatok. A 9. táblázatban az általuk megküldött adatok láthatók.

	2021 [db]	2022 [db]	2023 [db]	2024 [db]	2025. [db]	Összesen [db]
UAS üzemeltető	2126	1192	1283	1527	107	6235
UAS	5208	2831	3992	3500	140	15671

9. táblázat Magyarországon regisztrált UAS eszközök és üzemeltetőknek a száma (készítette a szerző az Építési és Közlekedési Minisztérium Légügyi Felügyeleti Hatósági Főosztály adatai alapján)

Napjainkig Magyarországon több mint 6000 drón üzemeltetőt (drón pilótát) és közel 16 000 drónt regisztráltak. Az adatok évről évre növekedést mutatnak mind a regisztrált drónok, mind az üzemeltetők számában, alátámasztva a technológia növekvő népszerűségét.

Európában a drónoperátorok számára vonatkozóan sikerült adatokat felkutatnom és összesítenem; a következő 29. ábra a 27 tagország adatait tartalmazza.



29. ábra Drón operátoroknak a száma az EASA tagországokban
(készítette a szerző a [94] alapján)

Az adatok igen szembetűnők: Európában Németországban regisztrálták a legtöbb drónüzembentartót (közel 700 000-et napjainkig). Ezt követi Lengyelország több mint 200 000 felhasználóval, majd Franciaország közel 120 000 regisztrációval.

Az Egyesült Államokban több mint 1 millió drónt regisztráltak 2025 első negyedévéig; ebből 412 505 kereskedelmi és 384 895 rekreációs célú drón. A regisztrált pilóták száma 438 673 [95].

Az Egyesült Királyságban 2023. március 31-ig 513 860 drónoperátort regisztráltak a Polgári Légiközlekedési Hatóság közleménye szerint [42][96].

Összegzett következtetések:

- A vizsgált adatokból látható, egyben kijelenthető, hogy évről évre nő a regisztrált drón-felhasználók száma, ami a technológia széleskörű elterjedésének köszönhető;

- A legtöbb drónüzembentartót Németországban regisztráltak, majd az Egyesült Királyság és az Egyesült Államok következnek.

Továbbá fontos megjegyezni, hogy ezek a számadatok nem tükrözik a tényleges felhasználók és eszközeik számát, hiszen a nem regisztrált eszközök és azok felhasználóinak a száma ismeretlen.

Az elmúlt két évtizedben több alkalommal fordult elő, hogy drónok váratlanul megjelentek az égbolton, kisebb-nagyobb fennakadást okozva. Ez alatt azt értem, hogy bár váratlan megjelenésüket jelentették, nem minden eset jelentett komoly kockázatot. Az ilyen eseteket rendszerint pilóták vagy a földi kiszolgáló személyzet jelezte az illetékes hatóságoknak, amikor munkájuk során drónt észleltek. Számos incidensben azonban a drónok veszélyesen megközelítettek más repülőgépeket, ami már jelentős légi kockázatot jelentett.

Ha egy drón ütközik egy másik légitárművel – a pusztán észlelésnél lényegesen súlyosabb következményeivel – az akár halálos kimenetelű balesetet is okozhat, az anyagi károkról nem is beszélve. Az ilyen események kockázati értéke és következménye nagymértékben függ attól, a légtér mely szegmensében történnek (a repülőterek közvetlen közelében vagy azon kívül), illetve, hogy milyen közel jelennek meg más légitárművekhez vagy infrastruktúrákhoz.

Ha egy drónincidens a repülőtér területén vagy annak vonzáskörzetében történik, az megzavarhatja a légi forgalmat. Váratlan megjelenése akadályozhatja a fel- vagy leszálláshoz készülő repülőgépeket, illetve a gurulóutakon közlekedő légitárműveket. Ennek következtében komoly járatkésések alakulhatnak ki, amely hátráltathatja a repülőtér biztonságos működését.

A pilóta nélküli légitárművek alkalmazása számos repülésbiztonsági kockázatot rejt magában, melyek közül az alábbiak a legfontosabbak:

- ütközésveszély: a légtér közös használata miatt fokozottan fennáll;
- nehézkes észlelhetőség: javarészt a kis méretük miatt a pilóták gyakran csak közeliről veszik észre;
- technikai meghibásodás: fedélzeti rendszerek meghibásodása, eszköz feletti irányítás elvesztése;
- szándékos rendbontás, károkozása: illegális tevékenységekre való használat, például légiközlekedés megzavarása;
- jogszabályi ke7retrendszerben foglaltak nem betartása: például előírt kategórián belüli magasság túllépése veszélyezteti a légiközlekedést;

- emberi tényező: drón kezelő személy tapasztalatlansága növeli a hibák bekövetkezésének az esélyét.

E kockázatok pontos megértéséhez először fel kell tárni azokat a veszélyeket és veszélyforrásokat, amelyek már jelen vannak vagy kialakulhatnak, és hatással lehetnek a repülésbiztonságra. A drónok biztonságos használatát az alábbi tényezők jelentősen befolyásolják:

- hazai és nemzetközi jogszabályi környezet;
- repülési környezet (időjárás, napszak, évszak, természetes és mesterséges akadályok jelenléte stb.);
- műszaki rendszerek megbízhatósági értéke;
- a drón kezelőjének képzettsége;
- egyéb, nem ismert tényezők.

A drónok használatakor a legnagyobb felelősség a drónt kezelő személyt terheli, az ő képzettsége és tapasztalata jelentős mértékben befolyásolja a repülés biztonságát. A kezelő a repülés megkezdése előtt a rendelkezésére álló információk alapján (időjárási helyzet; drón műszaki állapota stb.) hozza meg döntéseit, amelyek meghatározzák a repülési műveletek sikerességét. A drón művelettel kapcsolatos mindennemű felelősség a kezelő személyt terheli.

A műszaki oldalt vizsgálva, megállapítható, hogy a drónok működését számos fedélzeti és földi rendszer támogatja. Mint minden technológiai eszköz, a drónok és fedélzeti rendszereik is meghibásodhatnak. Gyakran már előre jelzik a meghibásodás lehetőségét a rendszerállapot figyelmeztetései (például gyenge adatkapcsolat vagy alacsony akkumulátorszint), és ilyenkor vészüzemmód is aktiválható.

A pilóta nélküli légijárművek elterjedése következtében egyre többen használják ezeket az eszközöket, mind legális, mind illegális céllal. Mit jelent mindez?

Legális drónfelhasználók azok, akik rendelkeznek a repüléshez szükséges képesítésekkel és engedélyekkel, valamint a drónműveleteket az előírásoknak megfelelően hajtják végre. Az alábbi jellemzők írják le ezt a felhasználói kört:

- Az üzemeltartók és eszközeik regisztrációval rendelkeznek, amely alapján a felhasználók nyomon követhetők.
- Az eszköz típusa és az alkalmazandó előírások szerint biztosítással rendelkeznek.
- Tudatosan készülnek a tervezett repülési műveletekre.

- Alapvető repülési ismeretek birtokában vannak, amelyeket az első repülést megelőzően igazolt vizsgán szereztek meg, így rendelkeznek a drón üzemeltetéséhez szükséges képesítésekkel.

Az illegális drónfelhasználók általában nem rendelkeznek a drónműveletek végrehajtásához szükséges engedélyekkel, és gyakran nem tartják be a pilóta nélküli légitárművek használatára vonatkozó előírásokat. Ez a felhasználói csoport jellemzően csak részben tartja be az

Számuk pontosan nem ismert, csupán a drónok eladásának a számaiból lehetne felvázolni egy hozzávetőleges nagyságrendet. Ezeket az adatokat azonban nehéz összesíteni, főként üzleti érdekek miatt. Ráadásul ezek az adatok nem adnak megbízható képet a tényleges felhasználók számáról, hiszen ide sorolhatók azok is, akik saját építésű vagy átalakított drónokat használnak.

Az illegális drónfelhasználókra az alábbi jellemzők igazak:

- Nem rendelkeznek a szükséges képesítésekkel és engedélyekkel.
- Nincs üzemeltetői és/vagy drón-regisztrációjuk.
- Nem-, vagy csak felületesen ismerik a repülési szabályokat és eljárásokat.
- Gyakran egyedi építésű vagy átalakított drónokat üzemeltetnek.
- Repülésüket nem jelentik be, nem engedélyeztetik a hatóságokkal.

A két felhasználói csoport közös jellemzője, hogy tevékenységük különböző mértékű és súlyosságú kockázatot jelent a környezetükre, attól függően, hogy:

- hol és milyen eszközzel repülnek;
- milyen napszakban történik a repülés;
- milyen műszaki paraméterekkel rendelkezik a légitármű;
- milyen terület felett repülnek;
- milyen időjárási viszonyok vannak a repülés során.

Egy másik szempont szerint a drónos repüléseket aszerint csoportosítjuk, hogy milyen szándékkal, milyen céllal üzemeltetik azokat:

- **Jogkövető szándékú alkalmazás:** a legtöbb esetben jogszerűen, az előírásoknak megfelelően üzemeltetik az eszközüket; céljuk a „rendzavarás” nélküli biztonságos üzemeltetés; minimális kockázatot jelentenek a környezetükre.
- **Semleges szándékú alkalmazás:** előírások nem maradéktalan betartása és alkalmazása; céljuk nem ártó szándékú (sok esetben az előírások nem ismerete miatt); kockázatot jelenthetnek a környezetükre.

- **Nem „jogkövető” szándékú alkalmazás:** előírások és jogszabályok figyelmen kívül hagyása; tudatos és szándékos rendzavarás, anyagi-és személyi károkozás; kiemelt kockázatot jelentenek a környezetükre.

A 2. és 3. csoportba tartozók különösen problémásnak tekinthetők, mivel bárhol és bármikor megjelenhetnek és akarva, akaratlanul fennakadást okozhatnak tevékenységükkel a környezetükben.

További nehézséget jelent, hogy az ezekben a csoportokba tartozó drónfelhasználókról nincsenek pontos adatok. Különösen veszélyes a 3. kategória, mivel ide azok a felhasználók tartoznak, akik a drónokat valamilyen negatív cél – például bűncselekmény vagy terrortámadás – végrehajtására használják fel.

A drónok jogszerű használata mindenhol alapvető elvárás, amelynek betartatása az illetékes hatóságok feladata. A drónok váratlan megjelenése mellett az alábbi veszélyeket és kockázatok is magukban hordozzák:

- Sebességük elérheti akár a 200 km/h-t (pl.: versenydrónok), ezért gyorsan változtatnak helyzetet;
- Folyamatosan képesek változtatni a helyzetüket: mozgékonyaságuk révén könnyen és gyorsan átrepülhetnek adott területek felett (magántulajdon megsértése).
- Kis méretük miatt nehezen észlelhetők, ami megnehezíti a vizuális felderítésüket;
- Képesek különböző tárgyakat, eszközöket vagy anyagokat szállítani a fedélzetükön, így illegális feladatokat vagy bűncselekményeket is végrehajthatnak velük (például robbanóanyag célba juttatását) [S3].

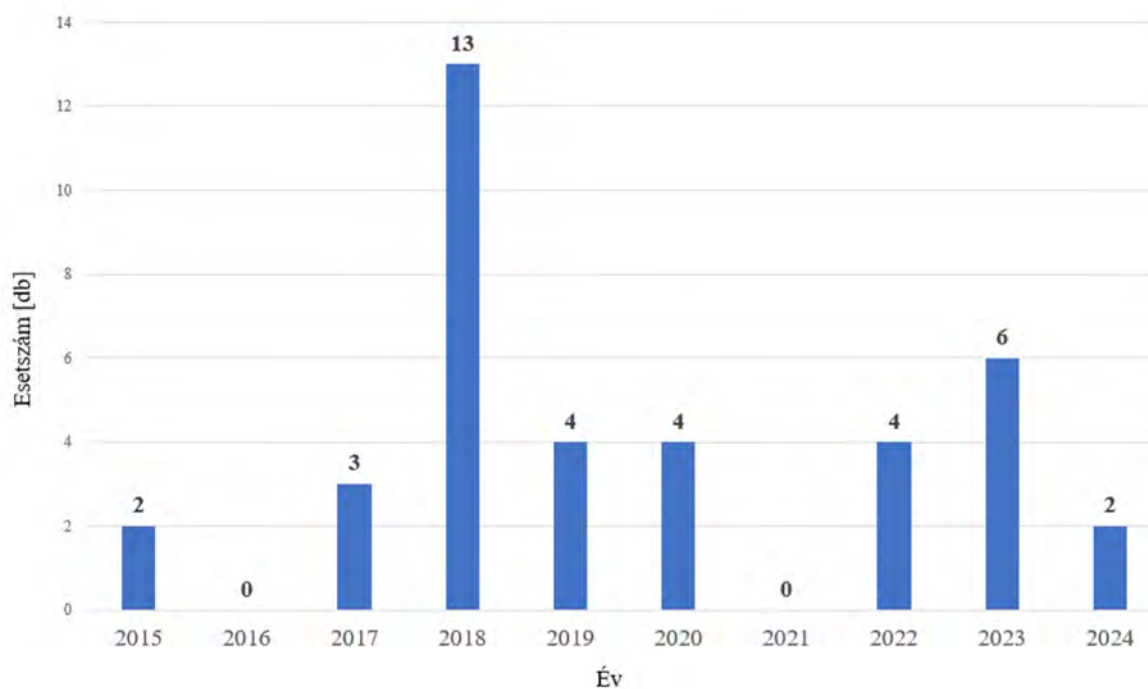
3.5.1. Előfordulási gyakoriság esetszámai Magyarországon

A pilóta nélküli légijárművek váratlan megjelenése a Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtérre sem került elő. A repülőtér a 2024-ben 17,6 millió utast fogadott, ezzel bekerült az 50 legforgalmasabb európai repülőtér közé az évben. Az érintett évben 1 143 937 repülőgépet kellett irányítani, ami 6%-kal több a 2023-as esztendőhöz képest. Ebbe beletartoznak a kis-és nagygépes repülések, átrepülő járatok, valamint a helyből induló és érkező járatok is. A legnagyobb csúcs júliusban volt, amikor is több mint 120 ezer repülőgép irányításáért volt felelős a HungaroControl [97][98].

Igaz, hogy nem magas éves esetszámokkal, de időnként megjelennek drónok a repülőtérre és közvetlen környezetében. Jelenlétük a repülőtérre illegális és törvényellenes tevékenységnek

minősül, nem utolsó sorban pedig kiemelt repülésbiztonsági kockázatot jelentenek, mivel a repülőtér tiltott terület a drónok számára. Váratlan megjelenésük komoly fennakadásokat, járat késéseket és anyagi károkat vonz magukkal.

Az elmúlt években minimális emelkedés mutatkozik az esetszámokat tekintve, ahogyan azt a mellékelt 30. ábra is mutatja.



30. ábra LHBP³⁴ körzetében észlelt dróntevékenységek számadatai
(készítette a szerző a HungaroControl adatai alapján)

2015-től 2023. november 26-ig összeségében 36 regisztrált drón incidens volt a Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtéren. A fenti ábrán látható egy folyamatos emelkedési ütem 2018-ig, majd azt követően egy visszaesés, amelyet valószínűleg erősen befolyásolt a COVID-19 pandémia. Az ezt követő két évben ismételten megfigyelhető növekedési, ami kiemelt figyelmet igényel. Az esetekről nincsenek nyilvános adatok így nem ismert, hogy a drónok váratlan felbukkanása hol, milyen magasságon történt, illetve megjelenésük okozott-e valamilyen káreseményt a repülőtéren?

Az esetek növekvő száma miatt a HungaroControl Zrt. drón detektáló rendszereket kíván telepíteni és üzemeltetni a repülőtér környezetében [99].

³⁴ LHBP - Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér ICAO kódja

Részletes elemzés a Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér (LHBP) közelében észlelt drón- és hagyományos légi járművek közötti veszélyes megközelítésekről (2015–2023).

A 30. ábra a Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér környezetében regisztrált drón- és hagyományos légi járművek közötti veszélyes megközelítések éves esetszámait mutatja be. Az adatok a HungaroControl Magyar Légiforgalmi Zrt. nyilvántartásából származnak.

Igazolt adatok, tények

Az első veszélyes megközelítéseket 2015-ben regisztrálták, mindössze 2 esettel. Ez a dróntechnológia kezdeti hazai elterjedésének időszaka. Az esetek száma 2016-ban 0 volt, azonban 2017-ben tovább emelkedett 3 esetre. 2018-ban érte el csúcspontját 13 esettel. Ez a drónhasználat robbanásszerű növekedésének és a szabályozási hiányosságoknak tudható be. Az esetek száma 2019 és 2020-ban stabilizálódott minden évben 4 esetre. 2021-ben az esetek száma 0 volt. Ez a szabályozások szigorodásának és a fokozódó drónhasználat ellenőrzésének köszönhető. A jogszabálymódosításokat és a világjárványt követően újabb növekedés volt tapasztalható, 2022-ben 4 eset majd 2023-ban 6, 2024-ben pedig 2 eset történt.

Kiemelkedő időszakok és magyarázatok

2018 kiemelkedő év volt, a 13 regisztrált esettel, mely a vizsgált időszak csúcserőssége is egyben. Ez az időszak egybeesik a dróntechnológia széles körű elérhetőségével és az amatőr felhasználók számának növekedésével, miközben a szabályozások még nem voltak teljesen kiforrottak.

2020–2021-ben viszonylag alacsonyabb esetszámok voltak, és ez a COVID-19 járvány alatti csökkenő légi közlekedési esetszámokkal magyarázható.

Összegzés és következtetések

Ahogy a fejezet bevezető részében említettük egyre növekvő a légiforgalom a repülőtéren. Az esetek háttérben rejlő részleteit nem állt módjában kiadni a HungaroControlnak. Minden esetben a megjelenések mögött szándékosság feltételezhető, azonban nem feltétlenül a rendbontás vagy a fennakadás volt a cél.

A 2018-as év esetszáma is megerősítette azt a tényt, hogy az akkori szabályozási rendszer nem megfelelő, illetve nem képes kezelni és kielégíteni az egyre növekvő drónozás iránti igényeket. Ezért szükség volt a drónok mihamarabbi felhasználóbarát szabályozási keretrendszerének megalkotására. Ez meg is történt, mivel 2021. február 10-én megjelentek az új szabályozások,

amelyek az EU-s drónos jogszabályokkal összhangban vannak és napjainkban is érvényesek a pilóta nélküli légitárművek és azok üzemeltetői számára.

Ajánlások megfogalmazása

Szükség lenne a szabályozásoknak az arányos mértékű szigorítására, különösen a repülőtér környéki tiltott légtérben történő drónhasználat esetén. A drónhasználók képzésének erősítése, különösen a légtérhasználati szabályok és a repülésbiztonság terén. Továbbfejlesztett drónészlelő rendszerek telepítése és hatékonyabb ellenőrzési mechanizmusok kialakítása.

Az adatok azt mutatják, hogy bár a drónok használatára vonatkozó módosított jogszabályrendszer és a drónok technológiájának folyamatos fejlődése segített szabályozni a drónok jogszabályszerű alkalmazását, azonban a repülőtér közvetlen környezetében továbbra is szükség van fokozott figyelemre és intézkedésekre a repülésbiztonság érdekében.

3.5.2. Előfordulási gyakoriság esetszámai az Európai Unióban

A repülőterek környezetében történő drónokészlelések esetszáma világszerte, így Európában is, folyamatos növekedést mutat. Az EASA által közzétett statisztikai adatok azt igazolják, hogy az illegális dróntevékenységek miatti működési szünetek – különösen Európa tíz legnagyobb repülőtérén – jelentős költségekkel járnak. Egy hozzávetőleg 30 perces leállás körülbelül 120-190 millió forint (300 000 – 475 000 euró) költséget okoz a légitársaságoknak és a repülőtér üzemeltetőinek [S3].

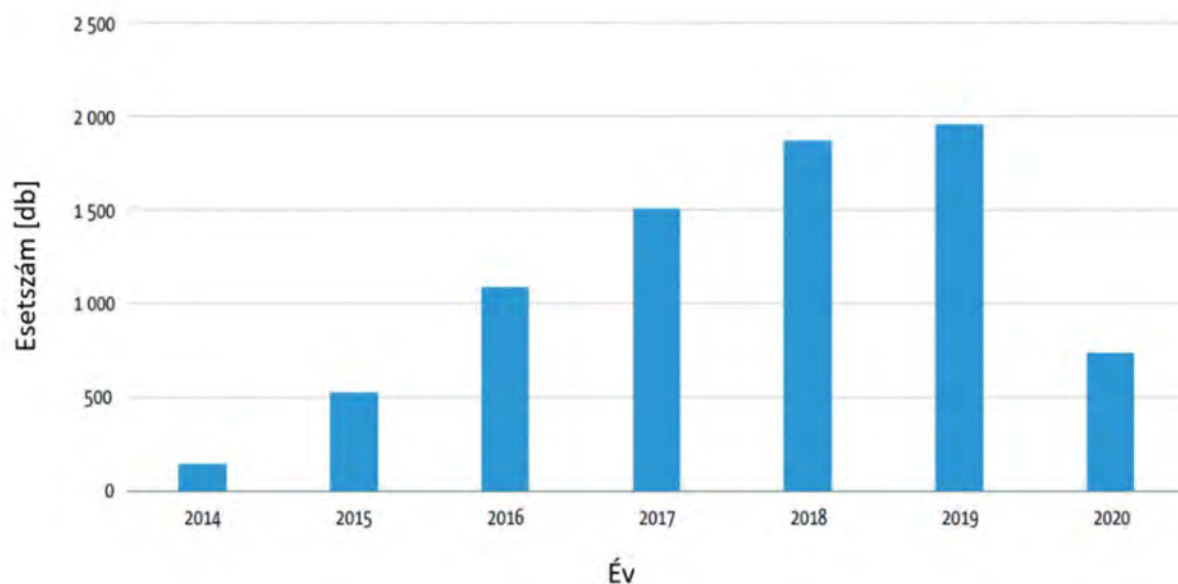
Ezek a hatások túlmutatnak a repülőtéri működésen, hiszen a légi szállítás akadályozása következtében a logisztikai láncok is megszakadnak, ami további jelentős költségeket eredményez az érintett vállalatok számára.

Az Európai Unió légiközlekedési statisztikáinak legmegbízhatóbb forrása az (EASA) hivatalos weboldala, amely átfogó nyilvántartásokat és elemzéseket tartalmaz.

Néhány fontosabb összesített adat (2024. november 11. állapot):

- regisztrált drónoperátorok száma: 1 669 510;
- A1/A3 végzettséggel rendelkező drónpilóták száma 1 139 159 [94].

Az alábbi 31. ábrán az EASA által összesített statisztikai adatok láthatók 2014-2020 közötti időszakra vetítve.



31. ábra Európai repülőtereken észlelt drónincidensek számadatainak éves bontása
(készítette a szerző az [S3] alapján)

A 31. ábrán megfigyelhető az a növekvő tendencia, amely alátámasztja, hogy évről évre növekszik a drón incidenseknek a száma Európa szerte. Az adatokat felismerve az Európai Unió egyfajta repülésbiztonsági cselekvési tervet fogalmazott meg, amelynek folyamat napjainkban is zajlik a tagországok bevonásával. Az EPAS (The European Plan for Aviation Safety 2021-2025) egy többlépcsőben megvalósuló folyamat, amely különféle elemzésekből, azok kiértékeléséből áll. A folyamat kapcsán feltárására kerülnek a drónok megjelenéséből adódó főbb kockázati tényezők, illetve ennek megoldását segítő javaslatok, intézkedések [S3].

A repülőterek környezetében történő drón incidensek vizsgálatával az EASA főként az engedély nélkül tevékenykedő drónok ellen kíván fellépni és védekezni.

Részletes elemzés a forgalmasabb európai repülőterek közelében észlelt drón- és légi jármű-közelit találkozásokról (2014–2020)

A 31. ábrán az EASA által gyűjtött adatok alapján a forgalmasabb európai repülőterek közelében történt drón- és hagyományos légi járművek közötti veszélyes megközelítések éves esetszámai láthatók a 2014–2020 közötti időszakban.

Igazolt adatok, tények

2014-ben az észlelt esetek száma alacsony, mindössze néhány száz esemény került regisztrálásra. Majd az esetszámok folyamatos növekedése tapasztalható, ami 2019-ben érte el a csúcst, amikor közel 2000 esetet rögzítettek. Ez a trend a dróntechnológia gyors elterjedésének és az egyre növekvő forgalmú légtereknek tulajdonítható.

2020-ban az esetek száma jelentős visszaesése volt tapasztalható, közel egyharmaddal csökkent a regisztrált eseteknek a száma kb. 750 esetre. Ez valószínűleg a COVID-19 világjárványnak a következménye, amely jelentősen csökkentette a légitörlekedési forgalmat, ezáltal az észlelések gyakoriságát.

Kiemelkedő időszakok és magyarázatok

Ebben az időszakban az éves esetszámok folyamatosan növekedtek, 2017-ben elérték az 1500 esetet, 2018-ban és 2019-ben is folyamatos növekedés figyelhető meg, amelynek következtében majdnem elérte a 2000-es esetszámot mindkét évben. Ez az időszak a drónhasználat szabályozási kihívásainak tetőzésével hozható összefüggésbe.

2020-as csökkenés valószínűsíthető oka a világjárvány miatt bekövetkezett légitörlekedési forgalom csökkenése, valamint a szigorúbb légitörlekedési korlátozások és légtér/repülőtér zárások voltak.

Összegzés és következtetések

Az esetszámok 2014 óta dinamikusan növekedtek, különösen 2017 és 2019 között, ami rávilágít a drónok elterjedése által jelentett repülésbiztonsági kihívásokra. A 2020-as visszaesés egyértelműen a COVID-19 világjárvány hatásainak tudható be.

Kockázatok azonosítása: A drónok forgalmas repülőterek közelében történő megjelenése jelentős veszélyforrást jelent, különösen a légiforgalom csúcsidőszakaiban. A drónhasználat megfelelő szabályozásának hiánya elősegíti az incidensek bekövetkezéseinek a valószínűségét.

Ajánlások megfogalmazása

További szigorítások szükségesek a repülőterek körüli légterekben (CTR, TMA), különös tekintettel a tiltott légtérhasználatra (No Drone Zone). Modern technológiai megoldások, például drónészlelő- és drón elhárító rendszerek telepítése a repülőtereken kiemelten fontos a repülésbiztonság érdekében. A drónhasználók oktatása és tájékoztatása elengedhetetlen a biztonságos légtérhasználat érdekében.

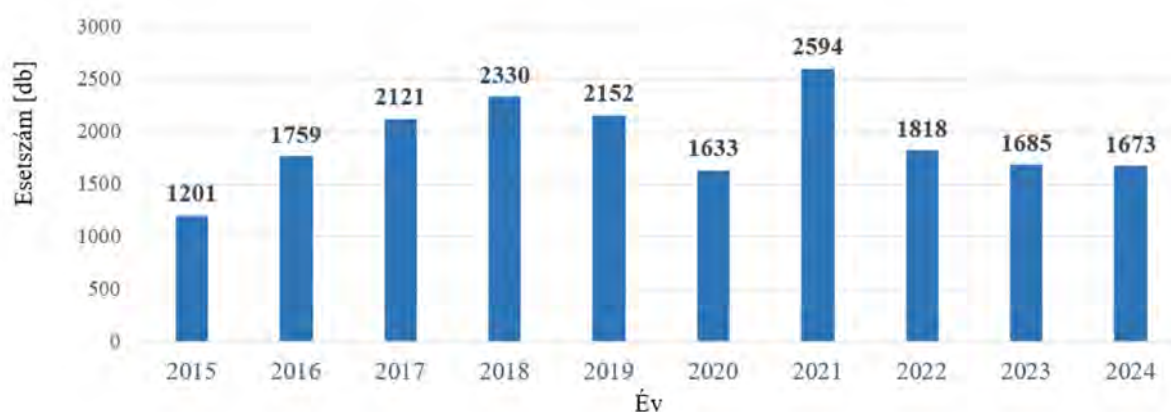
Végkövetkeztetés

Az adatok alapján megállapítható, hogy a forgalmas európai repülőterek környékén a drónok jelentette kockázat az elmúlt években jelentősen nőtt, különösen 2017 és 2019 között. A járvány miatt bekövetkezett csökkenés átmeneti hatásnak tekinthető, és a repülésbiztonság szempontjából továbbra is kiemelt figyelmet kell fordítani a drónok és a légitörlekedések közötti találkozások elkerülésére.

3.5.3. Előfordulási gyakoriság esetszámai az Amerikai Egyesült Államokban

Az Amerikai Egyesült Államokban az észleléseket legtöbb esetben kis- és nagygépes repülőgép-vezetők jelentik a légiforgalmi irányító szolgálatnak, de bárki bejelentést tehet az illetékes hatóságnak. A bejelentett esetek egy központi rendszerbe kerülnek, ahol kategorizálják és besorolják őket a vizsgálati folyamat megkezdése előtt. A beérkezett esetszámok alapján az FAA kivizsgálásokat végez, majd az eredményeket negyedévente közzéteszi online formában.

Az alábbi 32. ábrán az elmúlt évek esetszámai láthatók éves bontásban.



32. ábra FAA által közölt adatok éves bontásban
(készítette a szerző a [100][S3] alapján)

Az adatok elemzése alapján megállapítható, hogy az esetszámok éves szinten ingadoznak; a vizsgált, közel tízéves periódusban növekvő és csökkenő trendek egyaránt azonosíthatók. E fluktuáció háttérében több tényező áll. Egyrészt, a pilóta nélküli légijárművek szabályozási keretrendszerének közelmúltbeli módosulása befolyásolta a felhasználói szegmens alakulását is. Másrészt, a COVID-19 pandémia szintén hatást gyakorolt a drónokkal kapcsolatos esetszámok alakulására. Vizsgálatom összefüggésében ez utóbbi tényező az esetszámok növekedéséhez vezetett, amely tendencia különösen a 2020-as év adatainál vált szembetűnővé, az azt megelőző évekkel összevetve.

Részletes elemzés az Egyesült Államok légtereiben észlelt drón- és légijármű veszélyes megközelítésekről (2015–2024)

Az 32. ábra az Egyesült Államok légiforgalmi légtereiben 2015 és 2024 között rögzített drón- és hagyományos légijárművek közötti veszélyes megközelítések éves esetszámát mutatja. Az adatok az FAA nyilvántartásából származnak.

Éves trendek és általános megfigyelések

Az első időszak (2015–2018) folyamatos növekedést mutat. 2015-ben 1201 esetet regisztráltak, amely folyamatos növekedést mutatott az elkövetkező években. Az esetszám 2018-ra 2330-ra emelkedett. Ez a növekedés alapvetően a drónok rohamos elterjedésének, továbbá a kereskedelmi és szabadidős drónhasználat szabályozás hiányosságainak, illetve a nem jogkövető magatartásnak tudható be.

A 2019–2020 közötti időszak stabilizációs és részben csökkenési adatokat produkált. 2019-ben az esetszám enyhén csökkent 2152 eseményre, majd 2020-ban tovább mérséklődött, összesen 1633 esetet regisztráltak. Ez a csökkenés részben a COVID-19 járvány miatt bekövetkezett légiforgalom-visszaeséssel magyarázható.

2021-ben újabb csúcs született, a regisztrált események száma ismét emelkedett, elérve a 2594 esetet, ami a vizsgált időszak legmagasabb értéke. 2022-ben az esetek száma ismét csökkent 1818-ra, majd 2023-ban 1685-re, míg 2024-ben (az év részleges adatai alapján) 1673 esetet regisztráltak. Ez az esetszám a járvány előtti csúcserőterek alá esett vissza.

Kiemelkedő időszakok és magyarázatok

2015–2018 volt a drónhasználat gyors növekedésének időszaka. Ekkor a dróntechnológia rohamos elterjedése fokozódott, miközben a szabályozás nem tudott lépést tartani a technológia fejlődésével. Ez a gyorsan növekvő drónhasználat jelentős kockázatot jelentett a repülésbiztonságra. 2021 volt a rekordértékek a légiközlekedés helyreállása után. A járvány utáni helyreállítás és a drónok folyamatos elterjedése eredményeként az esetszámok 2021-ben érték el a legmagasabb szintet (2594 esemény).

2022–2024 között az adatok alapján elmondható, hogy stabilizálódott és mérséklődött a drónincidensek száma.

Az FAA szabályozásainak szigorodása, a drónhasználók fokozott képzése és a technológiai megoldások (pl. Remote ID) terjedése hozzájárulhatott az esetszámok fokozatos csökkenéséhez.

Kockázatok és következmények

Főbb kockázati tényezők közé sorolható: a drónhasználók nem megfelelő képzettségét, a „No drone Zone”-t, valamint a forgalmas légterekben és repülőterek közelébe történő berepülés, továbbá a drónok repülési tulajdonságainak növekedése, amely nagyobb távolságok és magasságok elérésére teszi őket alkalmassá.

A legnagyobb kockázati időszakok a drónok elterjedésének kezdeti szakaszában az USA-ban (2015–2018) és a járvány utáni fellendülés (2021) időszakai voltak.

Megfogalmazott ajánlások

- A drónhasználat további szigorítása, különösen a forgalmas légterek közelében. (Szabályozás)
- Hatékony drónazonosítási rendszerek (pl. Remote ID) alkalmazása, amelyek lehetővé teszik a drónok valós idejű nyomon követését. (Technológiai fejlesztések)
- A drónhasználók széles körű oktatása a légiközlekedési szabályokról és a repülésbiztonság fontosságáról. (Képzés)
- Drónészlelő rendszerek telepítése a repülőterek környezetében, amelyek segítik a szabályszegők azonosítását. (Ellenőrzés)

Véggövetkeztetés

Az Egyesült Államokban regisztrált drónos incidensek alakulása rávilágít arra, hogy a drónhasználat gyors elterjedése jelentős kihívásokat jelentett a repülésbiztonság számára. A szabályozások és technológiai megoldások fejlődése ugyanakkor hozzájárulhatott az incidensek mérséklődéséhez az elmúlt években. A 2024-es adatok további elemzése segíthet a jelenlegi helyzet pontosabb megértésében.

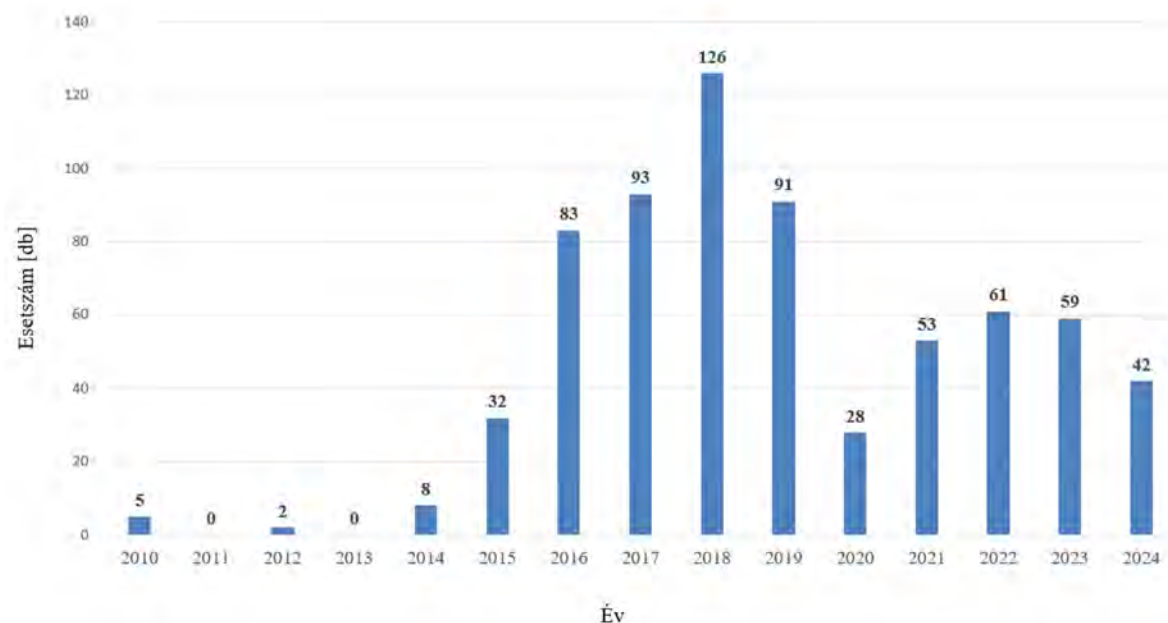
3.5.4. Előfordulási gyakoriság esetszámai az Egyesült Királyságban

Az Egyesült Királyságban 683 db regisztrált adat került rögzítésre az UKAB³⁵ adatai alapján 2010-2024 között. Ezek az esetek un. veszélyes megközelítéseknek minősülő események, amelyeket többségében a pilóták jelentettek a hatóságnak. A különböző esetek száma éves bontásban a következő oldal összesített 33. ábráján láthatók, amely tartalmazza egyrészt az UA eszközöket és a modell repülőgépeket is.

Az adatok elemzése alapján látható, hogy a pilóta nélküli légitárművek észleléseknek a gyakorisága legnagyobb számban a 2016 és 2019 közötti időszakban fordult elő. A 2020-ban kezdődő visszaesés feltehetően a COVID-19 világjárványnak a következménye, amely jelentősen csökkentette a légi közlekedés forgalmát. A pandémiát követően ugyan némileg mérséklődött az ilyen jellegű eseményeknek a száma, de az érintett hatóságok továbbra is körülbelül 50 esetet regisztrálnak évente.

A járványt követő években azonban az esetek száma stabilizálódni látszik, és napjainkban évente átlagosan mintegy 50 drónos eseményt regisztrálnak a szakhatóságok.

³⁵ UKAB - UK AIRPROX BOARD – Egyesült Királyság Airprox Tanácsa



33. ábra Egyesült Királyságban a veszélyes megközelítéseknek a száma 2010-2024
(készítette a szerző az [101] alapján)

Részletes elemzés az Egyesült Királyságban 2010–2024 között észlelt drón- és légijármű-közei találkozásokról

A 31. ábrán látható adatok az Egyesült Királyságban történt drón- és hagyományos légijárművek közötti veszélyes megközelítéseket (airprox³⁶ eseteket) mutatják éves bontásban a UK Airprox Board (UKAB) nyilvántartása alapján.

Éves trendek és általános megfigyelések, folyamatos növekedés 2010 és 2018 között:

2010-ben mindössze 5 esetet regisztráltak, ami az évek előrehaladtával drámai növekedést mutat. 2018-ban érte el a csúcst az esetszám, ekkor 126 esemény került rögzítésre. Ez az ugrászerű növekedés valószínűleg a drónok növekvő elterjedésével és a szabályozási hiányosságokkal magyarázható.

Csökkenés 2019 után:

2019-ben még mindig magas, 91 esemény történt, azonban 2020-ban jelentős visszaesés figyelhető meg, mindössze 28 eseménnyel. Ez vélhetően a COVID-19 járvány okozta légiközlekedési forgalom visszaesésének köszönhető.

2021-től enyhe emelkedés:

2021-ben 53 esetet, 2022-ben 61 esetet, míg 2023-ban 59 esetet regisztráltak. Ez az emelkedés a járvány utáni légiközlekedési helyreállásnak és a drónhasználat újraéledésének tudható be.

³⁶ Airprox - olyan légihelyzet, amikor egy légijármű olyan közel kerül egy másik légijárműhöz, hogy veszélybe sorolja annak biztonságát (Forrás: <https://skybrary.aero/articles/airprox>)

2024 (január–június):

Az év első felében 42 esemény történt, ami arra utal, hogy az éves esetszám meghaladhatja az előző két évét, ha a jelenlegi trend folytatódik.

Kiemelkedő időszakok és magyarázatok

A 2016 és 2019 közötti időszak kiemelkedően magas esetszámokat mutat (83-126 esemény évente). Ez összefüggésbe hozható a dróntechnológia gyors fejlődésével és elterjedésével, miközben a szabályozások még nem tudtak lépést tartani az új kihívásokkal.

Az alacsony 2020-as esetszám (28) a világjárvány miatti légiközlekedési korlátozásokkal és a drónhasználat csökkenésével magyarázható. A forgalom csökkenése kevesebb lehetőséget teremtett a légijárművek közötti veszélyes közeledésekre.

Összegzés és trendek

A legmagasabb esetszámot a 2018-as év produkálta, amely a drónok még nem kellő hatékonyságú szabályozásának, valamint a növekvő légi forgalomnak volt köszönhető. 2020-ban a légiközlekedés visszaesése érezhető hatást gyakorolt az esetszámokra. 2021-től egy fokozatos helyreállítás figyelhető meg, bár az esetszámok még nem érték el a 2018-as szintet. Az adatok azt jelzik, hogy a drónok és a hagyományos légijárművek közötti incidensek továbbra is folyamatos kockázatot jelentenek, különösen a forgalmas légterekben és a repülőterek környezetében.

Következtetések

Fő kockázati tényezőknek tekinthetők a szabályozások hiányosságai, az amatőr drónhasználók növekvő száma, és a légiforgalom növekedése. ***Továbbifejlesztési irányok lehetnek*** a szigorúbb szabályozások, a hatékony drónazonosítási rendszerek (pl. Remote ID), valamint a drónhasználók képzése, mely elengedhetetlen a repülésbiztonság fenntartásához.

Ajánlasként megfogalmazható, hogy az incidensek számának csökkentése érdekében szükséges a drónhasználat szabályozásának folyamatos felülvizsgálata és a drónok légiforgalmi rendszerekbe történő integrálása.

3.6. Észlelt drón incidensek magasság szerinti eloszlása

Az előző fejezet részben ismertetett esetszámokat a továbbiakban aszerint vizsgálom, hogy az egyes esetek, milyen repülési magasságon történtek. Céлом feltérképezni, hogy a váratlanul megjelenő pilóta nélküli légijárművek milyen magasságban fordulnak elő.

Ennek vizsgálatát alapvetően két fő adatbázis fogja szolgáltatni. Az egyik az Egyesült Államokban előfordult eseteknek a száma, amelyet az FAA szolgáltat. A másik nagy adatbázis pe-

dig az Egyesült Királyságban előfordult eseteknek a száma, amelyet a veszélyes megközelítések vizsgáló testület (UKAB - UK Airprox Board) szolgáltat. Ez utóbbi szorosan együttműködik a polgári légiközlekedési hatósággal (CAA – Civil Aviation Authority).

Az előző fejezetben bemutatott esetszámokat a következőkben repülési magasság szerinti bontásban vizsgáltam. A cél a váratlanul megjelenő pilóta nélküli légi járművek előfordulási magasságának feltérképezése, hogy pontosabb képet kapjunk az ilyen események kockázati profiljáról.

A vizsgálathoz az alábbi két fő adatbázist használtam:

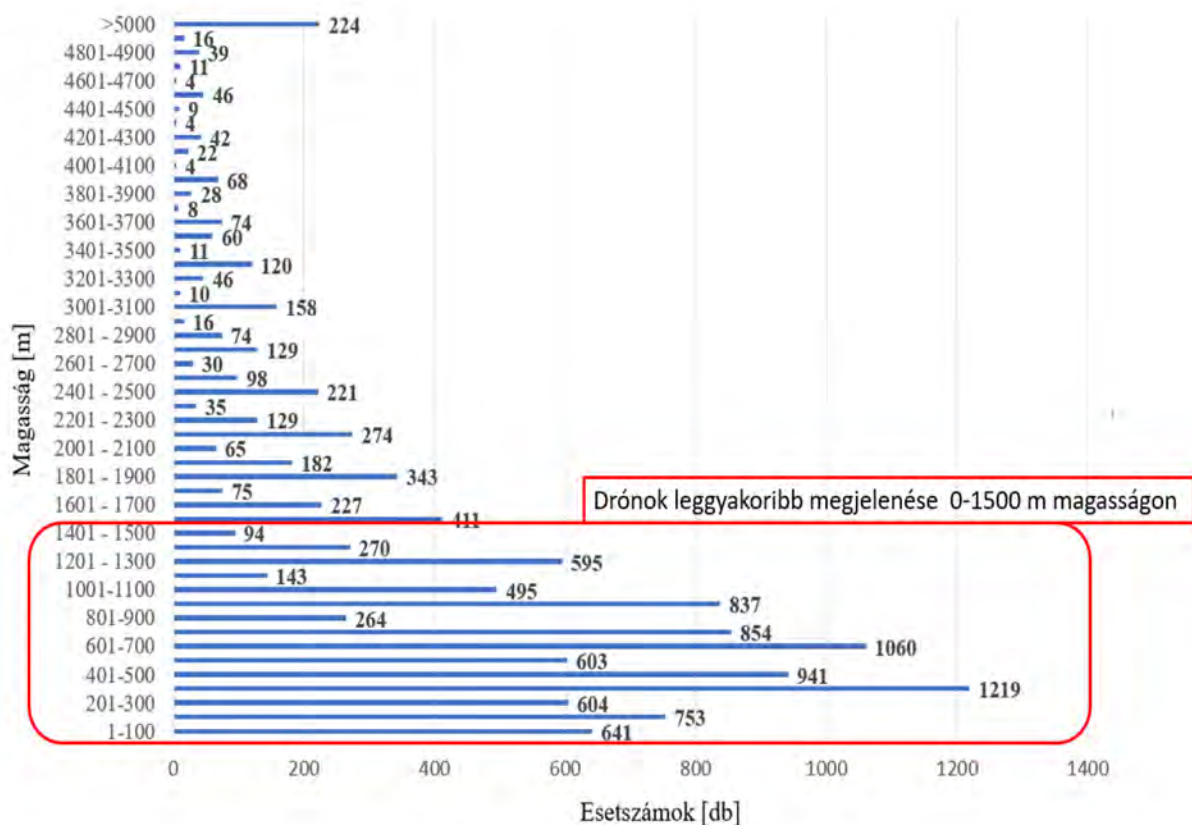
1. Az Egyesült Államok eseteinél, az FAA által gyűjtött és publikált adatbázist.
2. Az Egyesült Királyság eseteinél, a veszélyes megközelítéseket vizsgáló testület (UKAB – UK Airprox Board) dokumentált adatait. Ez utóbbi szervezet szoros együttműködésben működik a polgári légiközlekedési hatósággal (CAA – Civil Aviation Authority).

Ez a vizsgálat betekintést nyújt a drónok által jelentett repülésbiztonsági kockázatokba, különös tekintettel az előfordulási magasságokra. Mivel az esetek egy része a repülőtereken vagy azok közvetlen közelében fordul elő, ezért gyakorlatilag bármilyen repülőgép találkozhat velük a repülőtér megközelítése vagy éppen elhagyásakor.

3.6.1. A Szövetségi Légiközlekedési Hivatal (FAA) által közzétett adatok vizsgálata

A magasság eloszlás vizsgálatának időintervalluma 2018. január 01-től 2024. december 31-ig terjed. Azért nem 2015-től vizsgálom, mert legkorábban 2018-tól vannak részletes adatok havi és éves bontásban. Ez hét teljes év időszakot ölel át.

Ebben az időszakban összesen 14 185 drónos incidens került rögzítésre, ezen adatok képezték a vizsgálatom tárgyát. Az analízis célja az volt, megvizsgálni és összesíteni, hogy milyen magasságokon és milyen gyakran jelentek meg a drónok az érintett időszakban. A 34. ábra éves bontásban mutatja meg az esetszámok alakulását, amely így részletes képet nyújt a magasságok szerinti eloszlásról.



34. ábra Veszélyes megközelítések magasság szerinti vizsgálata 2018-2024
(készítette a szerző [100] alapján)

Az eseteket 1-5000 méter és a fölötti magasságokban vizsgáltam meg 100 méteres bontásban. A rendelkezésre álló 14 185 esetszám közül csak 12 686 adat volt elemezhető. Ennek alapvetően két oka van. Az egyik, hogy nem minden esetben lehetett beazonosítani, hogy valóban drónokat észleltek, továbbá nem minden esethez került rögzítésre magassági adat. A magassági adat hiánya néhány esetben valószínűleg annak köszönhető, hogy ezekben az esetekben feltéhetően a földről érzékelték a drónok megjelenését, amelyet műszerek (magasság mérők) hiányában nehéz pontosan meghatározni.

Legmagasabb és legalacsonyabb észlelési magasságok

A diagramból nem derül ki, de a vizsgálatom tárgyát tette ki az is, hogy mi volt ezen esetek közül a legkiemelkedőbb, nevezetesen a legmagasabb és a legalacsonyabb magasságok. A hét év alatt a legalacsonyabb magasságon történő észlelés 3 m magasságon, míg a legmagasabban észlelt eset pedig 13 716 m magasságon történt.

2500 méter alatti gyakoriságok

Az eseteket magasság szerint két részre osztottam. 2500 m alatti és feletti magasságokban észlelt esetek. Az esetszámokból kiolvasható, hogy 2500 m alatt 11 335 esetet regisztráltak. Ez azt

jelenti, hogy a rendelkezésre álló összes adatok mintegy 90%-a (11 335 eset) ebben a vizsgált 2500 m alatti magasságokban fordult elő.

2500 méter feletti gyakoriságok

Az esetszámok mintegy 10%-a (1127 eset) 2500 m felett történtek. Ezek közül 1% (224 eset) volt azoknak az eseteknek a száma, ami 5000 méter magasság felett történt.

Legnagyobb előfordulási sűrűség

Az esetek számát megvizsgálva jól megfigyelhető az a magasság tartomány, amiben a leggyakoribb a drónok megjelenése. Ez a tartomány 1-1500 m területet fed le. 1500 m feletti tartományokban is megfigyelhetők az észleléseknek a száma, azonban intenzitásuk a magasság növekedésével fokozatosan csökken. Míg nem elérjük a 3000 m feletti magasságokat, ahol 100 méterenként emelkedve az esetek száma 100 esetszám alá csökken.

Értékelés

Korábban fejezettrészben láttuk, hogy a drónok megjelenése repülőterek környezetében évről évre változik, növekvő majd csökkenő tendenciával mutatva. A drónok megjelenését megvizsgálva adott magassághoz képest azt tapasztaljuk, hogy a legnagyobb gyakoriság 1500 m alatt valósul meg. 1000 m alatt 7776 esetet volt regisztrálva, ez a szám több mint 60%-a az összes esetet figyelembe véve. 1500 m alatt 9373 esetet regisztráltak, ami az összes esetet figyelembe véve több mint 70%-ot jelent. Azonban 2500 m alatt 11 335 esetet regisztráltak, ami az összesített esetszám mintegy 90%-át teszi ki.

A drónok megjelenési gyakoriságát megfigyelve megállapítható, hogy leginkább 2500 m alatt a leggyakoribbak, ezen belül is főként 1500 m alatt. A vizsgálat szempontjából ezért a 1-2500 m magassági réteget kiemelten veszélyes, nagy kockázattal bíró légtérnek kell nyilvánítani.

Következtetés

A drónok 2500 m magasság alatti tartományokban történő megjelenésének okai:

- a legtöbb kereskedelemben kapható drónok műszaki paraméterei lehetővé teszik (még akkor is hogy gyári magasság korlátozás van az eszközökben) az érintett magasság elérését, sőt túllépését is;
- a házilag épített drónok esetén az elérhető maximális magasság alapvetően nincs korlátozva (egyéni beállításokkal korlátozható), ezáltal ezekkel az eszközökkel a több kilométeres, akár 10 km-nél nagyobb távolságok is elérhetők;

Ajánlás

A probléma megoldására alapvetően az eszközök magasság szerinti korlátozását tartom célra-vezetőnek. Itt fontosnak tartom megjegyezni, hogy teljes egészében ez nem lenne képes meg-
oldani a problémát, azonban mindenképpen csökkentené a drónok megjelenésének a számait.

A kereskedelmi forgalomban kapható drónok maximális magasság értékének módosításának gyártói újra gondolása (lehetséges csökkentése) a hatóságok és szakértői bizottságok közreműködésével (lásd 10. táblázat)

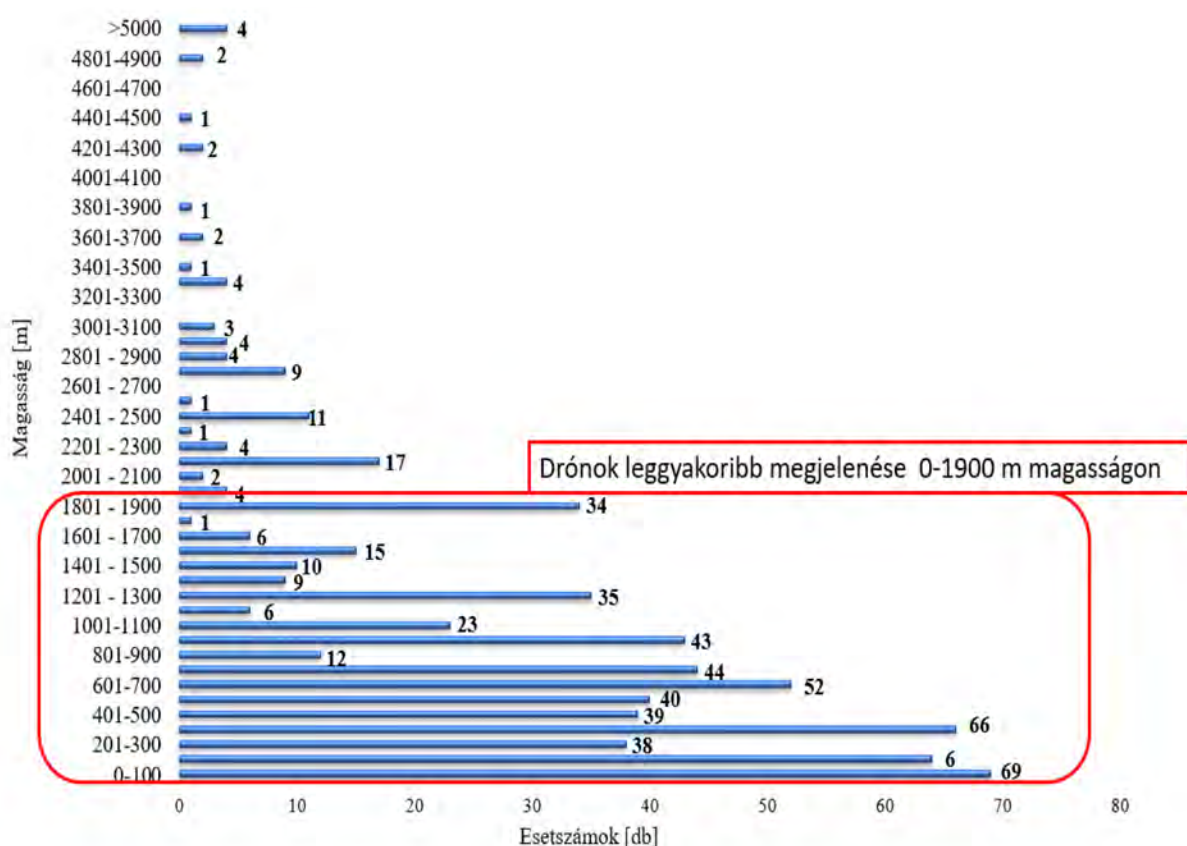
Drón modell	Maximális repülési magasság [m]
DJI Mini 2	4 000
DJI Mini 2 SE	4 000
DJI Mavic 2 Pro	6 000
DJI Mavic 2 Zoom	6 000
DJI Mavic 3	6 000
DJI Mavic 3T	8 000
DJI Matrice 30	7 000
DJI Matrice 300 RTK	6 000
DJI Mavic Pro Platinum	5 000
DJI Mavic Air	4 000
DJI Air 2S	12 000
DJI Spark	2 000
DJI Tello	100
DJI FPV	10 000

10. táblázat DJI drónok magasság és hatótávolság adatai
(készítette a szerző a [102] alapján)

A 10. táblázat a kereskedelmi forgalomban kapható DJI típusú pilóta nélküli légi járművek (UAV-k) jellemzői láthatók. Az általuk elérhető maximális repülési magasság jelentős kockázati tényezőt jelent a drónok üzemeltetése során. Megítélésem szerint a kereskedelmi forgalomban elérhető drónok alkalmazásai körében – elenyésző kivételektől eltekintve – ritkán indokolt az olyan nagy magasságok (1000–2000 m) elérése. A gyártók által bevezetett magassági korlátozások hozzájárulhatnak ahhoz, hogy a drónok ne jelenjenek meg olyan légtérben, ahol veszélyeztethetik a környezetükben közlekedő egyéb légijárművek biztonságát, növelve ezzel a repülésbiztonságot.

3.6.2. Az Egyesült Királyság Airprox Tanácsa (UK AIRPROX BOARD) által közzétett adatok vizsgálata

A magasság eloszlás vizsgálatának időintervalluma 2010. január 01-től 2024. augusztus 23-ig terjed, mely közel 14 teljes év időszakát foglal magában. Ebben az időszakban az Egyesült Királyság repülőterein és annak környezetében 892 drón észlelés került rögzítésre, mely adatok képezték a vizsgálatom tárgyát. A vizsgálat célja a pilóta nélküli légi járművek (UAV-k) megjelenésének magassági és gyakorisági jellemzőinek elemzése és összegzése volt az adott időszakban. Az alábbi 35. ábra éves bontásban mutatja be a 2010–2024 közötti időszakban regisztrált drónészlelések esetszámait, részletes képet nyújtva a magassági eloszlásról.



35. ábra Veszélyes megközelítések magasság szerinti vizsgálata 2010-2024
(készítette a szerző az [101] alapján)

Az eseteket 1-5000 és a fölötti magasságok szerint vizsgáltam meg 100 méteres bontásban. A rendelkezésre álló 892 esetszám közül csak 683 eset volt érdemben elemezhető, melynek alapvetően két oka van. Az egyik, hogy nem minden esetben lehetett beazonosítani, hogy valóban drónokat észleltek, továbbá nem minden esethez került rögzítésre magassági adat. A magassági adat hiánya néhány esetben valószínűleg annak köszönhető, hogy ezekben az esetekben feltehetően a földről érzékelték a drónok megjelenését, amelyet műszerek (magasság mérők) hiányában nehéz pontosan meghatározni.

Legmagasabb és legalacsonyabb észlelési magasságok

A diagramból nem derül ki, de a vizsgálatom tárgyát képezte az is, hogy mi volt ezen esetek közül a legmagasabb és a legalacsonyabb magasság. A tizennégy év alatt a legalacsonyabb magasságon észlelt eset 3 méteren, míg a legmagasabban észlelt eset pedig 6096 m magasságon történt.

2500 méter alatti gyakoriságok

0-2500 méter közötti magasság tartományban 645 esetet regisztráltak az érintett időszakban. Ez a számadat az összes esetet több mint 94%-át teszi. Gyakorlatilag ez azt is jelenti, hogy az esetek túlnyomó részében ebben a magasságtartományban észlelik a drónokat.

2500 méter feletti gyakoriságok

2500 méternél magasabban 38 esetet regisztráltak az érintett időszakban. Ez a számadat az összes esetet több mint 5%-át teszi.

Legnagyobb előfordulási sűrűség

Az esetek számát megvizsgálva jól megfigyelhető az a magasság tartomány, amiben a leggyakoribb a drónok megjelenése. Ez a tartomány 1-1900 m magasság tartományt fed le. E-feletti tartományokban is megfigyelhetők az észleléseknek a száma, továbbá intenzitásuk a magasság növekedésével fokozatosan csökken. 3000 métert meghaladva az látható, hogy 100 méterenként emelkedve az esetek száma 1-4 esetszám közé csökken.

Értékelés

A leggyakoribb előfordulási zónák (0–1000 méter) összhangban állnak a pilóta nélküli légi járművek (UAV-k) tipikus felhasználási mintázataival, amelyek általában alacsonyabb magasságokhoz kötődnek. A magasabb tartományokban (2000 méter felett) regisztrált esetek jelentős eltérést mutatnak a szokásos használati profiloktól, és valószínűsíthetően szabályszegésekhez vagy speciális műveletekhez kapcsolódnak.

Korábbi fejezetekben bemutatásra került, hogy a drónok repülőterek környezetében való megjelenése évről évre változik, hullámzó tendenciát mutatva, amelyben növekedési és csökkenési periódusok váltakoznak. A drónok megjelenését megvizsgálva adott magassághoz képest azt tapasztaljuk, hogy a legnagyobb gyakoriság 1500 m alatt valósul meg. 1000 m alatt 467 esetet regisztráltak, ez a szám több mint 68%-a az összes esetet figyelembe véve. 1500 m alatt 550

esetet regisztráltak, ami az összes esetet figyelembe véve több mint 63%-ot jelent. Azonban 2500 m alatt 645 esetet regisztráltak, ami az összesített esetszám mintegy 94%-át teszi ki.

Megállapítható, hogy a drónok megjelenése leginkább 2500 m alatt a leggyakoribb, ezen belül is főként 1500 m alatt. A vizsgálat szempontjából ezt az 1–2500 m közötti magassági zónát kiemelten veszélyes, nagy kockázatú területnek kell nyilvánítani.

Következtetés

A 0–2000 méteres tartományokban történő észlelések a szabályozás és a repülésbiztonság szempontjából kiemelt figyelmet igényelnek, különösen a forgalmasabb légterek (repülőterek) közelében.

Az 1000 méter alatti előfordulások gyakorisága megerősíti, hogy a drónok jelenléte ebben a zónában a legnagyobb kockázatot jelentheti a repülésbiztonságra nézve.

Ajánlás

A probléma kezelésére elsődlegesen a pilóta nélküli légi járművek (UAV-k) magassági korlátozásának bevezetését tartom hatékony megoldásnak. Fontos azonban hangsúlyozni, hogy ez az intézkedés önmagában nem képes teljes mértékben megszüntetni a problémát, ugyanakkor jelentősen hozzájárulhat a nem kívánt események gyakoriságának csökkentéséhez.

3.6.3. Az FAA és UK AIRPROX BOARD jelentések adatainak az összevetése, következtetések

A vizsgált adatok több éves statisztikai adatokon alapulnak. A vizsgálattal az incidensek bekövetkezési gyakoriságára és kialakulásuk jellemző magasságára szerettem volna választ kapni.

Ebből következően a vizsgálatoknak kettős célja volt. Egyrészt információt szerezni arról, hogy milyen gyakran fordulnak elő drónok a környezetünkben; másrészt megvizsgálni, hogy mely magasságokban számíthatunk rájuk a leginkább.

A vizsgált és összesített adatokból az látható, hogy az esetek minimum 90%-a 2500 méter alatti magasságokon jelentkezik, ezen belül kb. 70%-a 1500 m alatt és 60%-a pedig 1000 m alatti magasságokon. Noha az FAA által szolgáltatott adatok mennyisége jóval nagyobb, mindkét adatbázis elemzésén nagyságrendileg hasonló tendencia figyelhető meg.

Az vizsgált adatok esetszám és százalékos bontása a 11. táblázatban láthatók.

FAA és UK esetszámok magasság adatainak a százalékos összevetése		
	FAA (eset/%)	UK (eset/%)
0-1000 m	7776 eset → 60%	467 eset → 68%
0-1500 m	9373 eset → 70%	550 eset → 63%
0-2500 m	11335 eset → 90%	645 eset → 94%

11. táblázat FAA és UK esetszámok magasság adatainak az összevetése
(készítette a szerző)

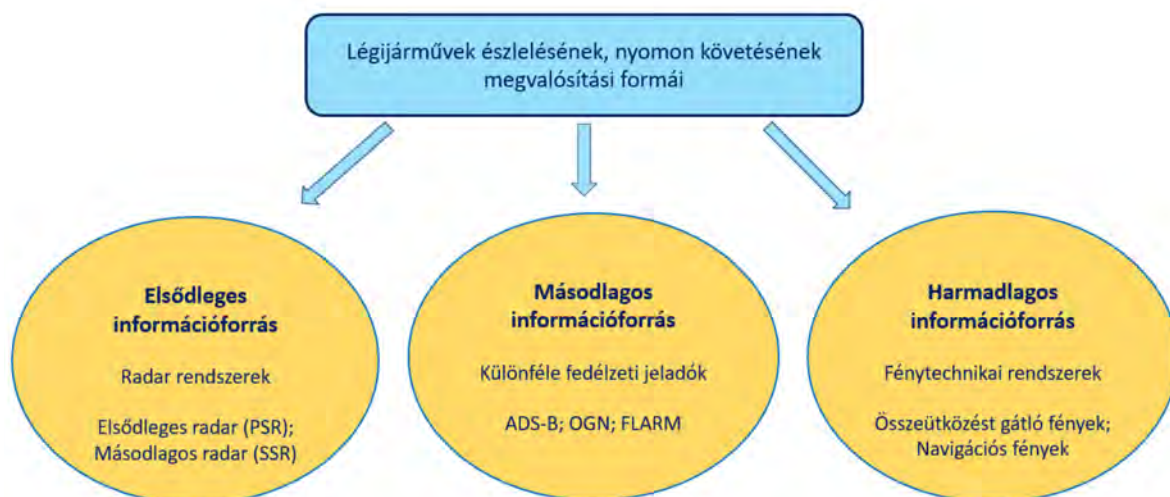
3.7. Következtetések

Napjainkban a pilóta nélküli légitárművek repülésbiztonsági szerepe és vizsgálata kulcsfontosságú. Nem csak a polgári légiközlekedésben résztvevőknek a száma növekszik évről-évre, hanem a drónok száma is, ami hatással van a repülésben résztvevők környezetére.

A hagyományos légiközlekedés rendszerbe történő integrálásuknak a folyamata napjainkban is zajlik. Mivel a drónok a hagyományos légtér szerkezetbe történő integrálása számos kockázatot hordoz magával, így ennek a folyamatnak a megvalósítása kiemelt jelentőséggel bír. Időről-időre előfordulnak olyan „drón incidensek” szerte a világon, amik az eset súlyosságától függően veszélyeztethetik a többi légtér felhasználót. Az ilyen eseményeket követően egyes incidensek feldolgozásra kerülnek, lehetővé téve a vizsgálatukat és a belőlük levonható különböző következtetések, valamint javaslatok megfogalmazását. Az esetek gyakorisága eltérő a különböző országokban. A vizsgált terület felvezetése továbbá hazai és nemzetközi környezetben (EU, UK, USA) előfordult adatokkal történő alátámasztása, illetve azok vizsgálata részletesen kifejtésre került a fejezetben.

4. A PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰVEK DETEKTÁLÁSÁNAK MÓDSZEREI

A repülésben alapvető fontosságú, hogy minden légtérfelhasználó a „látni és láthatóvá válni” elvet kövesse a biztonságos légi közlekedés érdekében. A pilóta nélküli légi járművek érzékelését számos technológia megoldás segítheti, azonban a különféle rendszerek hatékonysága eltérő. A repülésben már alkalmazott különféle SAA³⁷, vagy DAA³⁸ rendszerek már évtizedek óta hatékonyan támogatják a légiközlekedésben résztvevőket. Az ilyen rendszerek alkalmazásának – mint például a TCAS³⁹, ACAS⁴⁰ – a legfőbb célja, hogy légiközlekedésben elkerülhető legyenek az ütközések, a légibalesetek. A pilóta nélküli légi járművek (UAV-k) repülés közbeni láthatóságának növelése érdekében elengedhetetlen a megfelelő rendszerek alkalmazása. Csak ezen intézkedések megvalósításával lehetséges a drónok biztonságos integrálása a hagyományos légiközlekedési rendszerbe. E rendszerek bevezetése lehetővé teszi speciális drónműveletek, például éjszakai repülések vagy látóhatáron túli „Beyond Visual Line of Sight” feladatok végrehajtását. Ennek eredményeként csökkenthető a veszélyes megközelítések gyakorisága, továbbá elkerülhetővé válnak a drónok és a pilótával vezetett légijárművek közötti ütközések. A légijárművek észlelése többféle módon, különböző kommunikációs csatornákon keresztül valósulhat meg. Az észlelési adatok gyűjtésére és továbbítására szolgáló információk különböző forrásokból származhatnak. Ezek az információforrások alapvetően három fő csatornára oszthatók, amelyeket az alábbi 36. ábra szemléltet. [S9].



36. ábra Légijárművek észlelésének lehetséges információforrásai
(készítette a szerző a [S9] alapján)

³⁷ SAA - Sense and Avoid - érzékelés és elkerülés

³⁸ DAA - Detect and Avoid - észlelés és elkerülés

³⁹ TCAS - Traffic Collision Avoidance System - légi ütközést elkerülő rendszer

⁴⁰ ACAS - Airborne Collision Avoidance System - légi ütközést elkerülő rendszer

A légijárművek helyzetéről és mozgásáról többféle információforrásból szerezhetünk adatokat. Az egyik elsődleges módszer a hagyományos légtérellenőrző radarok használata, amelyek pontos adatokat szolgáltatnak a légijárművek pozíciójáról. Egy másik lehetőség a légijárművek fedélzetén elhelyezett jeladók alkalmazása, amelyek folyamatosan vagy meghatározott időközönként továbbítanak releváns információkat – például pozíciót és azonosítót – a környezetük és a légiforgalmi irányítás számára. Emellett egy harmadik információforrás a vizuális észlelés, amely az emberi szem általi megfigyelésre támaszkodik. Ebben az esetben a légijárművek fedélzetén alkalmazott fénytechnikai rendszerek – például navigációs fények és összeütközést gátló fények – teszik lehetővé a légijárművek jelenlétének érzékelését a környező légtérben.

4.1. A pilóta által vezetett légijárművek felderítésének jelentősége a polgári és katonai repülésben

A pilóta által vezetett légijárművek (hagyományos légijárművek) felderítése mind a polgári, mind a katonai repülésben kulcsfontosságú szerepet játszik a repülésbiztonság és az operatív hatékonyság szempontjából. Az alábbiakban részletezem a felderítés fontosságát mindkét területen:

1. Polgári repülésben

- A légi forgalom folyamatos figyelemmel kísérése elengedhetetlen az ütközések elkerülése érdekében. A pilóta által vezetett légijárművek pontos helyzetének és útvonalának nyomon követése lehetővé teszi a légiforgalmi irányítók számára a légijárművek biztonságos elkülönítését.
- A forgalmas légterekben a repülőgépek hatékony koordinálása növeli a légtér kapacitását – elősegítve ezzel a légtérgazdálkodást – miközben minimalizálja a késéseket és az üzemanyag-fogyasztást.
- A nem tervezett légi események, például egy eltérített repülőgép gyors felderítése lehetővé teszi a megfelelő válaszlépések megtételét.

2. Katonai repülésben

- A pilóta által vezetett légijárművek felderítése kulcsfontosságú a nemzeti légtér szuverenitásának megőrzése érdekében. Ez magában foglalja az engedély nélküli behatolásokat, ún. légtérsértéseket észlelését és az azokra való reagálást.
- A katonai műveletek során a légijárművek pontos helyzetének felderítése elengedhetetlen.

- Az ellenséges légijárművek időben történő felderítése lehetővé teszi a megfelelő válaszlépések (pl. harcászati repülőgépek bevetését) végrehajtását, valamint az esetleges támadások megelőzését.
- A katonai légijárművek helyzetének és tevékenységeinek pontos nyomon követése biztosítja a baráti erők közötti koordinációt a hatékony és sikeres műveletek érdekében.

3. Közös aspektusok

A felderítés mind a polgári, mind pedig a katonai repülésben csökkenti az emberi életet és anyagi értékeket fenyegető kockázatokat.

A modern légtérfelderítő rendszerek, a radarok, az ADS-B, és más valós idejű követő rendszerek mindkét szektorban alapvető eszközök, amelyek elősegítik a légiforgalom biztonságos áramlását.

Összegzés

A pilóta által vezetett légijárművek felderítése a repülés minden területén alapvető jelentőségű. A polgári repülésben a biztonságos és hatékony légi forgalomkezelés, míg a katonai repülésben a nemzetbiztonság és a stratégiai célok elérése érdekében kulcsfontosságú. A megfelelő felderítési rendszerek és technológiák folyamatos fejlesztése és alkalmazása mindkét szektorban elengedhetetlen a repülésbiztonság fenntartása érdekében.

4.2. A pilóta nélküli légijárművek felderítésének és láthatóságának szükségessége

Az elmúlt évtizedekben a pilóta nélküli légijárművek elterjedésével kiemelten fontossá vált detektálhatóságuk. Ennek jelentősége alapvetően különösen két fő területen indokolt:

- Kritikus infrastruktúrák védelme: A környezetünkben található számos ipari, kereskedelmi, valamint állami tulajdonú létesítmény, illetve kritikus infrastruktúra biztonságának megőrzése érdekében elengedhetetlen, hogy az UAV-k behatolása időben észlelhető legyen. Ezek az eszközök potenciálisan veszélyeztethetik az ilyen területek működését, ezért szükséges az ilyen eszközök távol tartása és a megfelelő ellenintézkedések alkalmazása.
- Katonai és konfliktusövezetek biztonsága: Napjainkban számos fegyveres konfliktusban és háborús helyzetben használnak UAV-kat különféle célok elérésére. Az ilyen eszközök időben történő felderítése és semlegesítése alapvető fontosságú a stratégiai és operatív biztonság fenntartása érdekében.

A repülésbiztonság egyik alapelve, hogy a légi közlekedés résztvevőinél a „sense and avoid”⁴¹ fenntartható legyen. Egy másfajta értelmezésben azonban fontos a „*Látni és láthatóvá válni*” elv is, miszerint egy légi jármű személyzetének kulcsfontosságú, hogy láthassa a környezetében repülő idegen légi járműveket, továbbá, hogy őt is lássok az érintett idegen légi járművek. Ez az elv azonban nem csupán a hagyományos repülőgépekkel szemben támasztott alapvető követelmény, hanem a pilóta nélküli légi járművekre vonatkoztatva is érvényesnek kell lennie.

- Láthatóság a légiforgalmi irányítás számára: Az UAV-k repülési tevékenysége során elengedhetetlen, hogy a légiforgalmi irányítók képesek legyenek észlelni, nyomon követni és adott esetben irányítani ezen eszközöket. Ez hozzájárul a légtér integritásának és biztonságának megőrzéséhez.
- Láthatóság a környezet számára: Fontos, hogy az UAV-k közvetlen környezetükben is jól láthatóvá váljanak, ezzel csökkentve az ütközéses balesetek kockázatát más légi járművekkel vagy földi objektumokkal.

4.3. Kihívások az UAV-k láthatóságában

Míg a hagyományos repülőgépek láthatósága napjainkban már nagyrészt megoldottnak tekinthető, a pilóta nélküli légi járművek esetében e téren még jelentős fejlesztésekre van szükség. A biztonságos és integrált légtérhasználat biztosítása érdekében az alábbi kulcsfontosságú fejlesztési területek azonosíthatók:

- Modern detektálási technológiák, például radar- és optikai alapú rendszerek alkalmazása.
- Egységes szabályozások és standardok kialakítása az UAV-k azonosíthatóságára és láthatóságára vonatkozóan.
- Az UAV-k beillesztése a légiforgalmi irányítási rendszerekbe, biztosítva a biztonságos közös légtérhasználatot a pilóta által vezetett légi járművekkel.

Az UAV-k detektálása és láthatóságának biztosítása mind a polgári, mind a katonai légiközlekedés biztonságának elengedhetetlen eleme. Ezen technológiák és elvek fejlesztése nélkülözhetetlen a jövő integrált légtérhasználatának megteremtéséhez. Bevezetésként fontos hangsúlyozni, hogy míg a hagyományos repülőgépek láthatósága napjainkra nagyrészt megoldottnak tekinthető, addig az UA-k láthatósága még jelentős fejlesztést igényel. Ez elengedhetetlen a

⁴¹ észlelni és elkerülni

biztonságos, integrált (kettős üzemű) légtérhasználat megvalósításához, amely a hagyományos és a dróntechnológiák harmonikus együttműködését teszi lehetővé.

4.4. Légi járművek detektálásának módjai

A légi járművek detektálása során az a cél, hogy pontos és megbízható információkat szerezzünk a légtérhez közeledő és abba belépni szándékozó, valamint az ott tartózkodó légi járművek helyzetéről és mozgásáról. Ez magában foglalja a következő paraméterek meghatározását:

- a légi jármű pontos pozícióját;
- repülési irányát;
- repülési magasságát;
- repülési sebességét.

A légi járművek észlelésére különféle műszaki rendszerek állnak rendelkezésre, amelyek a cél-objektum által kibocsátott és/vagy visszavert információkat képesek érzékelni és feldolgozni. Ezek a folyamatok a következőképpen működnek:

- Információgyűjtés, amely során az érzékelő rendszerek képesek észlelni a célobjektum által kibocsátott (pl. rádióhullámok) vagy visszavert (pl. radarjel) információkat.
- Feldolgozás, melyben az érzékelő rendszer a beérkező adatokat feldolgozza, azaz azonosítja és elemzi a légi jármű mozgási és egyéb paramétereit.
- Információ megjelenítés, amikor az észlelt és feldolgozott adatok vizuális formában jelennek meg a felhasználó számára (pl. indikátoron- vagy monitor felületén). Ez lehetővé teszi a döntéshozatalt.
- Döntéshozatal, melynél az összegyűjtött információk alapján a szükséges beavatkozások (pl. légterek elkerülésének megfigyelése, elfogó repülőgépek riasztása) meghatározhatók és végrehajthatók, amennyiben a helyzet indokoltá teszi.

A légi járművek detektálása kulcsfontosságú a légiközlekedés biztonság, a nemzeti légtér- és a kritikus infrastruktúrák védelme szempontjából. Az érzékelő rendszerek pontos működése és az információk hatékony feldolgozása elengedhetetlen a helyes és gyors döntéshozatalhoz, különösen kritikus helyzetekben.

A dinamikus helyzetváltozásra képes mozgó célok felderítése, majd követése többféle módon lehetséges:

- A. Elektroakusztikus méréssel, irányméréssel;
- B. Elektromágneses hullámtartomány méréssel;

- o a cél tárgy által kisugárzott rádiójelek érzékelésével;
 - o radarrendszerekkel történő érzékeléssel;
- C. Elektrooptikai rendszerek történő érzékeléssel [S5].

4.4.1. Tárgyak detektálása elektroakusztikus méréssel

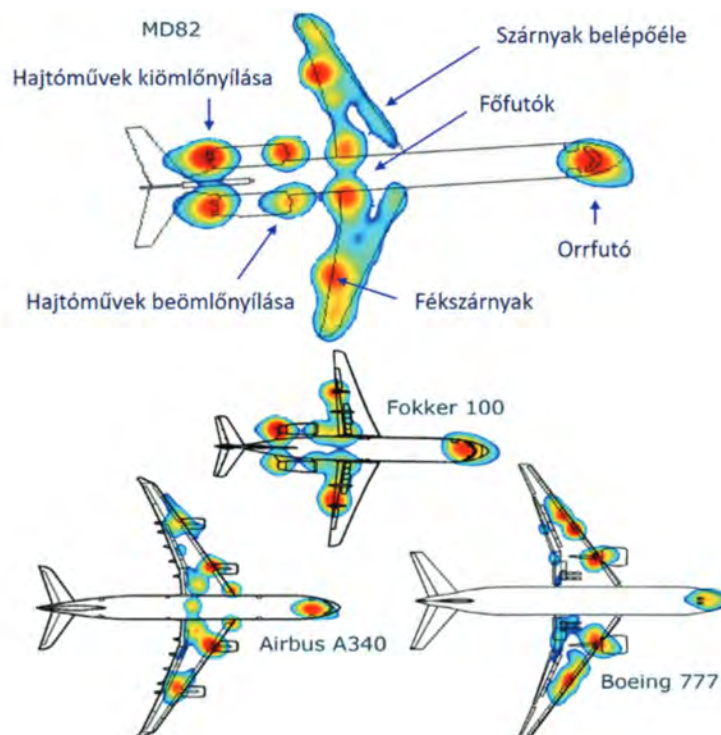
A légijárművek – beleértve a hagyományos légijárműveket és a pilóta nélküli légijárműveket – észlelésének egyik lehetséges módja, amikor a légijárműveknek a működésük során keltett hanghullámait észleljük, mérjük és feldolgozzuk. Ennek folyamán információval rendelkezünk az észlelt légijármű helyzetéről, haladási irányáról, a jelfeldolgozás mélységétől, akár típusáról is.

Környezetünkben számos műszaki berendezés, gép kelt különböző intenzitású zajokat. Ezeket érzékszerveinknek köszönhetően többnyire képesek vagyunk érzékelni. A különböző hangtípusok felismerése, azonosítása az emberi agyban játszódó folyamatoknak köszönhető. Az azonosítás alapvetően függ a hangforrás kibocsátásának helyétől, a jel erősségétől, irányától, a kibocsátott és érzékelt pont közötti távolságtól. Kültérben, szabadban végzett akusztikus felderítésnek az egyik hátránya, hogy mindig van egyéb a környezetből származtatható zajterhelés, amely megnehezíti az eredetileg érzékelni kívánt hangtípus analizálását. Ezeknek a nem kívánt „zavaroknak” a kiszűrését különféle mérés technikai megoldásokkal valósítják meg.

Légijárművek által keltett zajforrások az alábbiak lehetnek:

- *Hajtómű- vagy motor zaj;*
 - o A motorok és hajtóművek működésük során, az energiaátalakítás folyamán keletkezett zajforrás.
- *Hajtóművek légcsavarjai által keltett zaj;*
 - o A légcsavar adott lapátja metszi az előtte haladó lapát által gerjesztett örvényrendszert, aminek következtében közepes és magas hangtartományú zajok jönnek létre. A zaj intenzitása alapvetően függ a légcsavar vagy forgószárny fordulatszámától, kialakításától és méretétől.
- *Repülőgép sárkányszerkezete és a levegő aerodinamikai kapcsolatából keletkezett zaj;*
Kialakulhat például a szárnynak a törzsön való elhelyezéséből, illesztéséből adódóan.
- *Fedélzeti rendszerek, illetve egyes berendezések működéséből adódóan keletkezett zaj;*

A fent felsorolt zajforrások keletkezésének helyét szemlélteti a 37. ábra.



37. ábra A repülőgépek által keltett zajok forrásai
(készítette a szerző az [S5] alapján)

A repülőgépek által keltett zaj viszonylag nagy területet érint, akár több négyzetkilométer területre is kiterjedhet. A légi járművek okozta zaj nagysága a második legnagyobb zajterhelést eredményezi a környezetükre.

A repülőgépek szerkezeti méretükből, repülési magasságukból, mozgási sebességükből, illetve szárnyuk kialakításából adódóan különböző nagyságú területet képesek lefedni az általuk kibocsátott zajokkal. Ebből adódóan akusztikai érzékeléssel ezek kisebb-nagyobb légijárművek viszonylag jó hatásfokkal detektálhatók.

Ezzel szemben a pilóta nélküli légijárművek – főként a kereskedelmi forgalomban elérhető és leginkább alkalmazott típusok – méretükből adódóan nehezebben érzékelhetők ilyen jellegű akusztikai módszerekkel.

A forgószárnyas kialakítású drónoknak jellegzetes hangspektruma van, így lehetőség van őket felismerni, ezáltal észlelni, adott esetben nyomon követni és azonosítani [S5][103].

Íránymérés alkalmazása légi járművek észlelésére

Elektroakusztikai méréssel lehetőség van íránymérést alkalmazni mozgó céltárgyak detektálására, így meghatározható az észlelt tárgy detektálási helyéhez viszonyított iránya, továbbá mozgása. Abban az esetben, ha már rendelkezünk a detektált jármű hangforrásával szükséges lehet

az érzékelés pontjához viszonyított irányának és a további mozgásának felderítése. Ebben az esetben már kijelenthető, hogy van információnk az észlelt céltárgyról, illetve ekkor már van lehetőségünk a nyomon követésre is. A detektálás eredményességét azonban nagyban befolyásolja a környezet, az időjárási viszonyok és azok változása (szél, csapadék, zivatar). A hangfelderítő állomások megfelelő telepítését követően detektálni lehet az észlelt légitárgyakat. A védelmi szektor jelenleg is használ akusztikai felderítésen alapuló helymeghatározó eszközöket, rendszereket [103].

4.4.2. Tárgyak detektálása elektromágneses hullámtartomány méréssel

Cél tárgy által kisugárzott rádiójelek mérésén alapuló érzékelés

A drón és a távirányító (RC távirányító) közötti kommunikáció rádiófrekvenciás (RF) jelek segítségével valósul meg. Ezeknek a kommunikációs jeleknek az érzékelésével és elemzésével nemcsak a drón helyzete határozható meg, hanem az irányító személy pontos pozíciója is. Ez a módszer hatékony eszközt jelent a drónok és kezelőik felderítésében, különösen tiltott légtérhasználat esetén (lásd 38. ábra).



38. ábra Drón által sugárzott rádiójel érzékelésének modellje
(készítette a szerző az [S5] alapján)

A rendszer érzékeli az eszköz és a távirányító közötti rádiókommunikációt, majd megkezdődik a kisugárzási források felderítése. Ezt követően meghatározhatóvá válik a légi jármű beazonosítása, illetve nyomon követése.

Radarrendszerekkel történő detektálás

Mozgó céltárgyak detektálására a hagyományos radarrendszerek is alkalmasak. Működésük a rádiólokátor által kisugárzott rádióhullámok visszaverődésének érzékelése alapján különféle tárgyak helyét tudja megállapítani.

A rendszer működése folyamán időmérésre visszavezethető távolságmérés valósul meg. A kibocsátott jel és a vett jel (visszavert jel) között bizonyos idő eltelik, aminek segítségével meghatározható a keresendő céltárgy távolsága. A visszavert jel megjeleníthető, így információval szolgál az érzékelt céltárgy helyzetéről és mozgásáról.

A hagyományos radar rendszerekkel a kis méretű UA-k detektálása jelentős kihívást jelent. Ennek fő oka azok kis hatásos visszaverő felülete, mivel a radarok által visszavert jel intenzitása arányos a célpont felületének nagyságával. Minél kisebb a drón felülete, annál gyengébb a visszavert jel, így a detektálása nehezebbé válik.

A radar rendszerek fajtái és mélyebb kifejtése a későbbiekben kerül ismertetésre.

4.4.3. Tárgyak detektálása elektrooptikai rendszerek alkalmazásával

További lehetséges mód drónok detektálására az elektrooptikai rendszerek alkalmazása.

A repülő céltárgyak észlelése az emberi szem számára látható tartományban (380-750 nm) valósulhat meg. Az emberi szem képes érzékelni, agyunk pedig észlelni tárgyakat a környezetünkben. Az érzékelés azonban számos korláttal rendelkezik, mivel csupán csak korlátozott távolsáig vagyunk képesek érzékelni, majd ezt követően felismerni a különböző tárgyakat. Távoli célpontok azonosításához elengedhetetlen a képi megjelenítést segítő optikai eszközök használata.

Az emberi szem nem érzékeli a látható tartományon kívül eső elektromágneses sugárzást, ami szükségessé teszi speciális elektrooptikai eszközök használatát. Ezek az eszközök lehetővé teszik a látható tartományon kívüli spektrális tartományokban történő detektálást, és hozzájárulnak a célpontok pontos azonosításához.

Az ilyen rendszerek segítségével valósul meg a képi felderítés, amely három fő fokozatot különböztet meg: érzékelés, felismerés és azonosítás.

A hatékony felderítést azonban számos tényező befolyásolja, például:

- Időjárási körülmények, amelyek csökkenthetik az érzékelés hatékonyságát (pl. köd, eső, hó).
- Alkalmazott technikai eszközök, amelyek meghatározzák a felderítés pontosságát és távolságát.
- Fényviszonyok, beleértve a természetes és mesterséges megvilágítást.

A korszerű elektrooptikai rendszerek használata elengedhetetlen a repülő céltárgyak pontos és megbízható észleléséhez, különösen a modern légiközlekedési és biztonsági kihívások kezelésében [S5].

4.5. Radar rendszerek felhasználása drónok detektálására

4.5.1. Radar rendszerek alapvető működésének bevezetése

Tárgyak detektálására, felderítésére, továbbá helyzetadatainak meghatározására szolgál a rádiólokáció. A szó eredete a latin „*radio* és *locus*” szavakból erednek, ami sugárzást és helyet jelent [105]. Ezzel ekvivalens jelentéssel bíró elnevezés a RADAR (Radio Detection and Ranging = rádióérzékelés és távmérés) mozaikszó is. RADAR mérések alatt olyan különböző mérés- és mérőtechnikai megvalósítást értünk, ami tartalmazza azt az eszköz rendszert, ami ennek a mérésnek megvalósítását lehetővé teszi. Megkülönböztetünk aktív és passzív radar mérést.

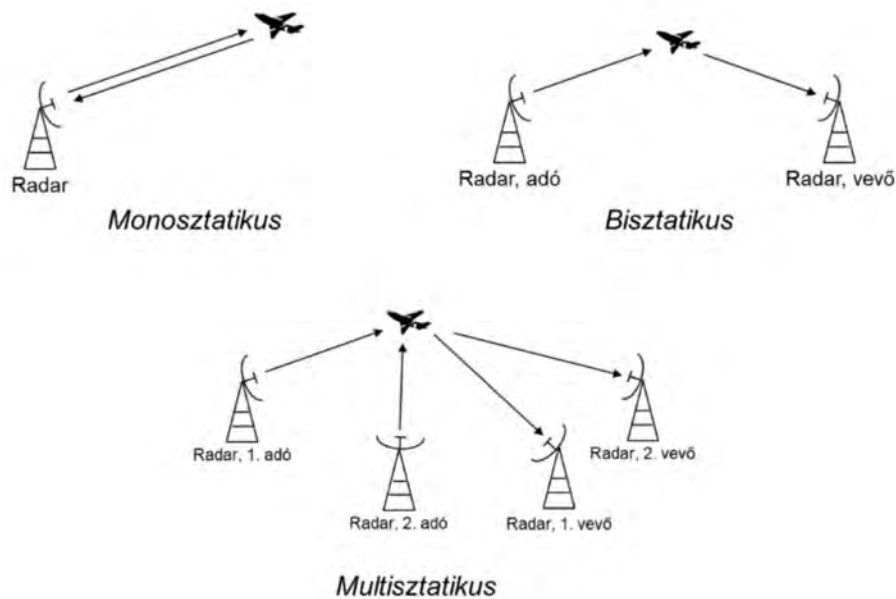
Az aktív radarok működésének alapja, hogy a rendszer bizonyos eleme elektromos energiát sugároz ki, amely valamilyen céltárgyról visszaverődve és felfogva észlelhetővé válik a detektált céltárgy. A visszavert jel jellemzői, értékei a kisugárzott jelhez képest eltérnek. Amennyiben sikerül beazonosítani a céltárgy okozta változásokat, akkor információt kapunk a detektált tárgyról.

A radar rendszer képes meghatározni az alábbi paramétereket a detektált céltárgyról:

- cél irányszöge;
- radiális távolság;
- radiális sebesség.

A konvencionális radarok a vizsgálandó szögtartomány letapogatását mechanikus forgatással érik el. Oldalszögben történő letapogatást az antenna teljes 360°-os körbefordításával érik el. Egy perc alatt 5-12-szer fordul körbe, amihez szükséges idő 5-12s. Közepes hatótávolságú radarok jellemzően 10-12-szer fordulnak körbe egy perc alatt, amihez szükséges idő 5-6 s.

Radar állomások alap elrendezésének konfigurációi lehetnek monosztatikus, bisztatikus vagy multisztatikus, amelyet a 39. ábra szemléltet.



39. ábra RADAR rendszerek alap elrendezései
(készítette a szerző az [104] alapján)

A legelterjedtebb radar elrendezés a monosztatikus, amikor is az adó és a vevő ugyanott, azaz ugyanazon az antennán helyezkedik el. Míg ezzel szemben a bisztatikus elrendezés estében külön antennán helyezkedik el az adó és a vevő berendezés, továbbá a két antenna nagy távolságokra helyezkednek el egymástól. Hasonlóképpen a multisztatikus elrendezés esetén is, ahol több helyen helyezkednek el az adók és vevők antennái egymástól különböző távolságokra. Az elrendezés kiválasztása és alkalmazása nagyban befolyásolja a detektálási képességet és a mérésnek a pontosságát [104].

A rádiólokáció – légieszközök felderítésének és helyzetadatainak a meghatározása – felhasználható az alábbi csoportok szerint:

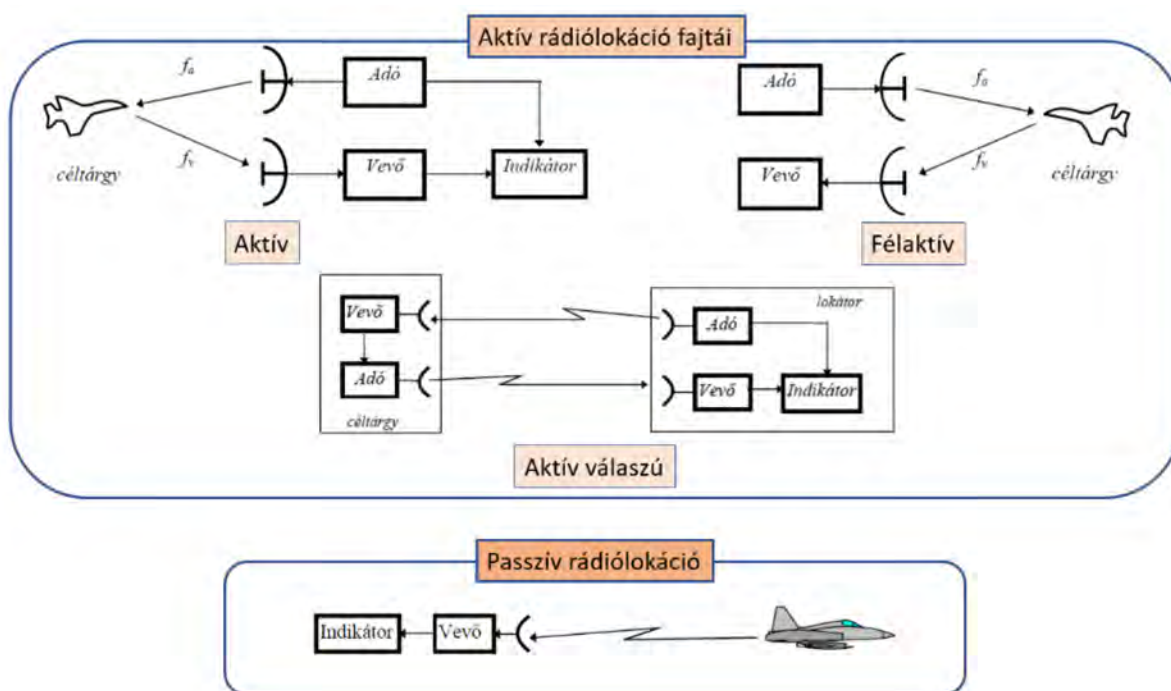
- aktív;
- félaktív;
- aktív válaszó;
- és passzív.

Aktív rádiólokáció alatt a hagyományos radar állomásokat és azok működését értjük. Ebben az esetben a mérés a céleszköz elektromágneses energia besugárzásával és az arról visszavert energia vételével és feldolgozásával valósul meg. A rendszer egy adó egységből (adó antenna), egy vevő egységből (vevő antenna) és egy megjelenítő egységből, un. indikátorból áll. A visszavert energia, teljesítmény függ a céltárgy alakjától, anyagától és annak tulajdonságaitól, továbbá a visszaverődő felületének méretétől.

A *félaktív rádiólokáció* esetén az energia kisugárzása – a célok detektálására – és visszavert energia felfogása más helyekről és más rendszeren által kisugárzott információ vételén működő eljárás.

Az *aktív válaszú rádiólokáció* esetén a cél hatótávolság növelése. Ami azt jelenti, hogy a nem kisugárzott jeleket kell visszafogni, hanem egy annál erősebbet, amelyet a céleszköz a fedélzetén hordoz és sugároz magáról. A földi eszköz (lokátor) által kisugárzott energia hatására a fedélzeten elhelyezett adó/vevő berendezés működésbe lép és válasz jelet sugároz vissza a lokátornak kódolt formában. Ezen mérési módot alapvetően azonosítás céljából „barát vagy ellenség” (IFF - Identification Friend or Foe), továbbá másodlagos légtérellenőrző radaroknál használják.

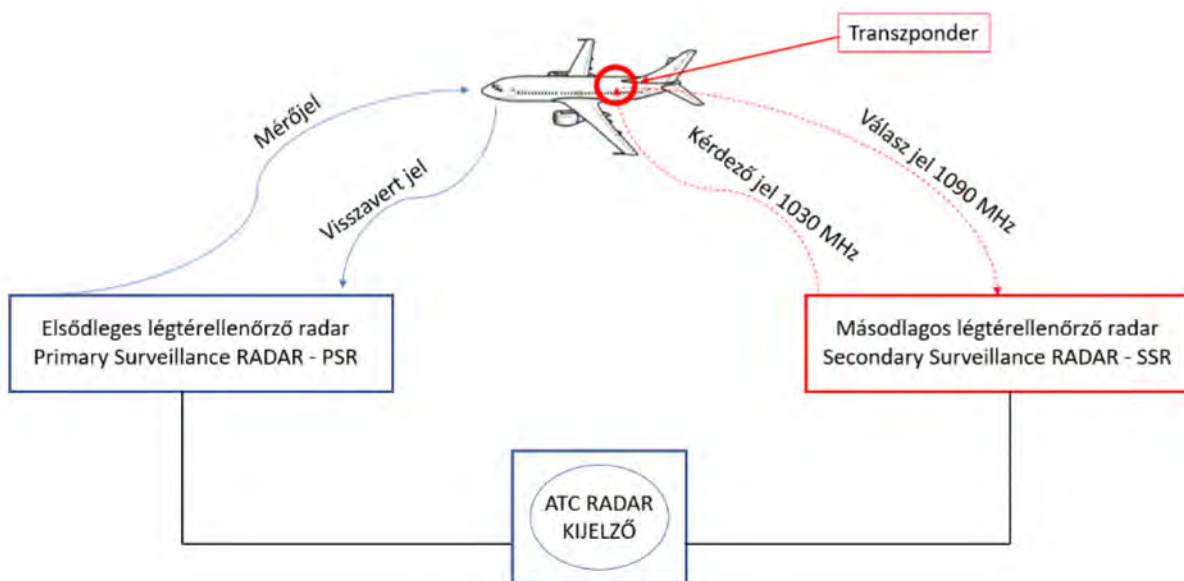
A *passzív rádiólokáció* elve az előzőekben említett mérési módoktól jelentősen eltér. Mérésének lényege, hogy a környezetünkben elhelyezett statikus és dinamikus céltárgyak, objektumok elektromágneses energiát sugározhatnak ki, amelynek vételén keresztül beazonosítható a detektált céltárgy. Az előbb említett és részletezett négyféle rádiólokációs mérési módok együttesen a 40. ábrán kerültek szemléltetésre [105].



40. ábra Rádiólokáció lehetséges fajtái, kialakítása
(készítette a szerző a [105] alapján)

Összeségében tehát megkülönböztetünk aktív mérési módon működő és passzív rádiólokációt vagy radar rendszereket.

Légtérellenőrzés megvalósulhat elsődleges-, másodlagos radar rendszer- vagy a kettő együttes használatával (lásd 41. ábra)



41. ábra ATC légtérelőrzéshez használt radar rendszereinek osztályozása
(készítette a szerző a [106] alapján)

Elsődleges légtérelőrző radar (Primer Surveillance Radar – PSR)

Az elsődleges légtérfelügyeleti (PSR - Primary Surveillance Radar) radar rendszer adatait a primer radarok szolgáltatják. A nagy teljesítménnyel kisugárzott mikrohullámú rádiófrekvenciás jelek a detektált célrepülőgépről (cél tárgy) visszaverődve a primer radar vevő egységébe jutnak, aminek következtében megkezdődik a jelfeldolgozás vagyis a detektált repülőgép helyzetének a meghatározása. A begyűjtött adatokból a rendszer megjeleníti az adott kijelzőn az éppen aktuális radarképet. Általában a radarállomásokon üzemel úgy primer, mint szekunder radar is egyaránt. Általában két csatornájuk van (A és B) amely alapvetően a redundanciát hivatott megteremteni, ami azt jelenti, hogy az egyik csatorna meghibásodása esetén a rendszer automatikusan átvált a másik csatornára, így biztosítva a folyamatos szolgáltatást.

Elsődleges radar adatokat használnak a polgári és katonai repülésben egyaránt. A PSR nem képes szolgáltatni adatokat a légijármű azonosságáról és aktuális magasságáról. A rendszerre jellemző pozitívum, hogy képes transzponderek nélküli mozgó légieszköz detektálására, illetve abban az esetben is képes detektálni, amennyiben a fedélzeti jeladó esetleg meghibásodott. Ennél a mérésnél a detektálni kívánt mozgó cél tárgy becsült távolsága a kibocsátott és visszavert (fogadott) jelek között eltelt időből határozható meg [106][107].

Másodlagos légtérelőrző radar (Secondary Surveillance Radar - SSR)

A primer radarral ellentétben a szekunder radarok közepes teljesítményen sugároznak ki ún. digitális kérdező impulzusokat, amelyekre a repülőgépeken fedélzetén elhelyezett berendezés

(transzponder) válaszol, majd jut vissza a radar vevő egységébe (aktív válaszú rádiólokáció). Ezt követően történik a repülőgép beazonosítása és helyzetének a meghatározása. Ehhez szükséges egy a fedélzeten elhelyezett válaszjeladó, amely egyrészt azonosítási adatokat szolgáltat, továbbá egyéb repülési és helyzeti adatokat. A működéshez használt frekvencia értékek 1030 MHz – 1090 MHz. A földi berendezés felváltva és folyamatosan sugározza ki a jeleket „A” és „C” üzemmódban a légitársaság felé. A fedélzeti transzponder veszi a jeleket 1030 MHz frekvencián és a kérdező impulzusokra pedig 1090 MHz frekvencián válaszol egy négyjegyű számjegy kódolt formájában.

Ilyen kombinált rendszerek esetén biztosított a fedélzeti válaszadóval ellátott repülőgépek és az ezekkel nem felszerelt légitársaságok detektálhatósága, irányítása. A rendszereknek folyamatos üzem alatt biztosítani kell a nap bármely részében a megbízható információkat a légtérben közlekedőkről annak érdekében, hogy az irányító szolgálat hatékonyan és biztonságosan legyen képes felügyelni és beavatkozni a repülés irányítási folyamatokba.

Összefoglalva a PSR és SSR radar rendszerek által nyújtott előnyök és hátrányok a 12. táblázatban kerültek összegzésre [106][107].

Elsődleges (PSR) légtérelőrző radar rendszer jellemzői		Másodlagos (SSR) légtérelőrző radar rendszer jellemzői	
Előnyök	Hátrányok	Előnyök	Hátrányok
nem szükséges a légitársaság fedélzeti transzponder	nem képes légitársaságot azonosítani	légitársaságok azonosítását képes megvalósítani (négy számjegyű kód)	csak a fedélzeti válaszadóval ellátott légitársaságok detektálására képes
időjárati csatorna kiemenet	nem szolgáltat magassági adatot a detektált légitársaságról	légitársaságokról magassági adatot képes szolgáltatni	különböző válaszadatok (A-mód és C-mód) összekeveredhetnek
„bármilyen” légitársaság felderítésére alkalmas	gyakran téves célpontok detektálása valósul meg	jó észlelési képességgel bír, zavaró körülményektől függetlenül (pl.: időjárás)	rendszerek karbantartása költséges
	nagy hatótávolsághoz nagy adóteljesítmény megléte szükséges	gyors adatközlés a detektált légitársaságról	
	nehézség a detektált céltárgyak beazonosítása		

12. táblázat Elsődleges, és másodlagos légtérelőrző radar rendszerek jellemzői
(készítette a szerző a [106] alapján)

Úgy a polgári, mint a katonai repülőtereken meg kell felelni a nemzeti (hazai) és nemzetközi (ICAO, EASA stb.) repülési szabályoknak, így ezeket a rendszereket alapvetően együttesen kell, hogy használják légiforgalmi irányításért felelős szervek és a különböző légijárművek, mint egyéni légtérfelhasználók. *

4.5.2. Drónok RCS méréseinek a jelentősége

Amint azt korábban már érintettük, a drónok detektálásának jelenlegi műszaki implementációi a radar-, rádiófrekvenciás, akusztikus, vizuális és szenzorösszeolvadáson alapuló eljárásokat foglalják magukban. A radar alapú detektálási módszerek perspektivikusnak tekinthetők, mivel a radarrendszerek változó meteorológiai viszonyok között is képesek légi célok azonosítására.

Az aktív radarok elektromágneses hullámok továbbítása és a célpontokról visszavert jelek analízise révén detektálják az objektumokat. Ennek megfelelően egy adott célpont észlelhetősége a cél radarvisszaverő/szórási karakterisztikájától függ. Egy adott objektum ezen szórási tulajdonságát radar keresztmetszetnek (RCS – Radar Cross Section) nevezzük. A magasabb RCS-értékkel rendelkező célok detektálása egy adott radar számára kedvezőbb, mint az alacsonyabb RCS-értékű objektumoké. A célpont RCS-értékét a radar frekvenciája, a cél geometriai alakja, a besugárzás és a visszaverődés szöge, valamint a cél anyagi minősége (például fém, kompozit) determinálja. A kompozit anyagból készült, kisméretű drónok tovább csökkentik a radarok jel-érzékelési képességét.

Publikált tanulmányokban közölt mérések azt bizonyítják, hogy a kis méretű drónok rendkívül alacsony RCS-vel rendelkeznek, ami jelentősen megnehezíti ezen objektumok detektálását a hagyományos L-sávú (1–2 GHz) és S-sávú (2–3 GHz) radarrendszerek számára.

A légtérrel ellenőrző radarok tipikusan két fő komponensből állnak: az elsődleges jeleket kibocsátó és fogadó egységből (primer felderítő radar – PSR) és a másodlagos jeleket kibocsátó és fogadó egységből (szekunder felderítő radar – SSR). Utóbbi funkciója a légtérben tartózkodó eszközök fedélzeti válaszadójának (transzponderének) impulzusokkal történő lekérdezése és a válaszadó által visszasugárzott impulzusok dekódolása. Mindazonáltal a drónok által generált primer-és szekunder radarjelek információtartalma gyakorlatilag elhanyagolható. Ennek okai alapvetően két fő tényezőre vezethetők vissza:

- Az egyik elsődleges tényező a drónok fizikai dimenzióiból és anyagszerkezetéből ered. A drónok vázszerkezete és kiegészítő komponensei túlnyomórészt különböző kompozit

és polimer ötvözet anyagokból kerülnek kialakításra. Ebből kifolyólag a hatékony radar keresztmetszet (RCS) értéke gyakran 0,012 m² körüli nagyságrendet mutat.

- A másik releváns ok, hogy a drónok fedélzetén nem található olyan nyomon követésre alkalmas jeladó rendszer, mint például az ADS-B OUT vagy az OGN tracker. Ezen technológiák implementálása elengedhetetlen lenne ahhoz, hogy a drónok más légitársaságokkal kooperatív módon működhessenek, ezáltal szignifikánsan redukálva a repülésbiztonsági kockázatokat [108].

4.6. Az OGN rendszer alkalmazása drónok detektálására

Az OGN rendszer megvalósításának alapjait egy korábbi ütközés elkerülést szolgáló rendszer a FLARM (Flight Alarm) adta, amely a továbbiakban is fontos szerepet játszhat légitársaságok biztonságos közlekedésének támogatásában. Azonban az OGN rendszer adóit (tracker) más funkciókkal is lehet bővíteni, mint pl. telemetriás vagy éppen meteorológiai adatok vételére és azok továbbítására.

Az Open Glider Network (OGN) rendszert a vitorlázórepülők biztonságosabb repülésük támogatása érdekében hozták létre, mely fejlesztések a 2010-es évekig nyúlnak vissza. A rendszer folyamatos fejlesztésének, fejlődésének köszönhetően manapság közel 2000 OGN állomást (vevő állomás), továbbá 20 000 regisztrált felhasználót foglal magába. A rendszer mára nem csak vitorlázó repülők egy közös légtérben történő megjelenítésére hivatott, hanem eredményesen használható gyakorlatilag minden olyan pilótával vezetett vagy anélküli repülőeszköz, légitársaság számára is, mint pl.: drónok, kis repülőgépek, illetve siklóernyősök.

Mi sem mutatja jobban a rendszerben rejlő potenciált, minthogy a 2019-ben megrendezésre került AERO 2019 kiállításon az EASA első díjjal jutalmazta a rendszer egyik fejlesztőjét, Sebastian Chaumontet [19][S9].

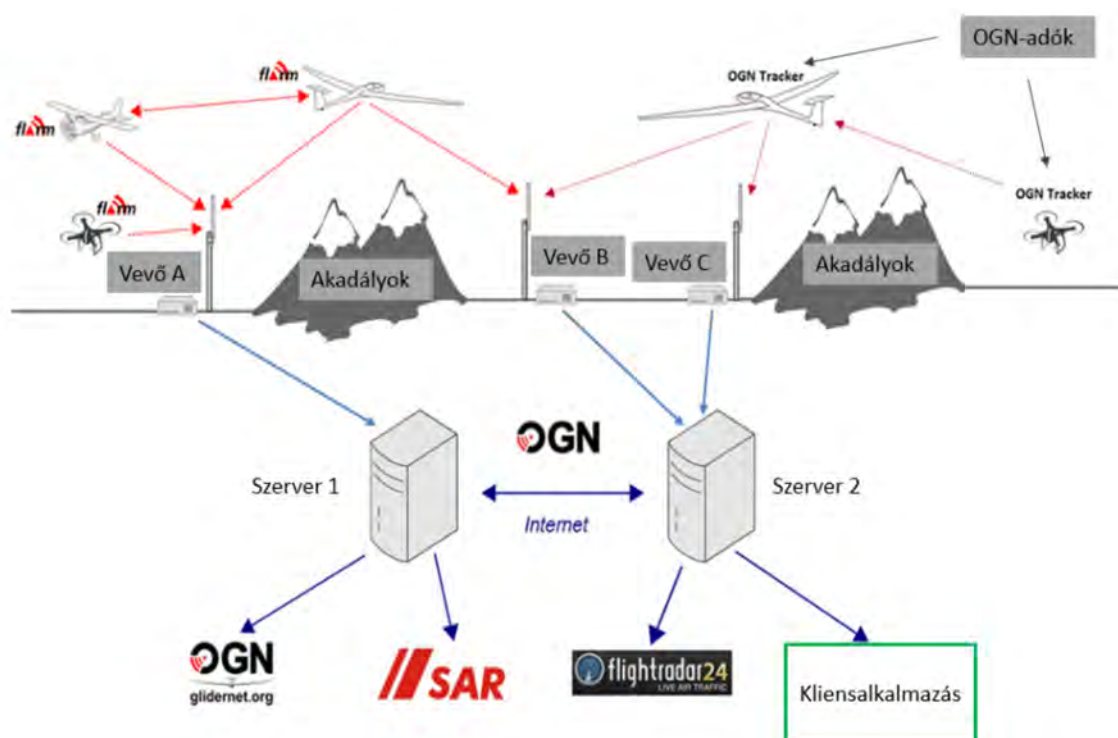
Az egyre nagyobb számú légitrafalom, köztük a pilóta által vezetett és pilóta nélküli légitársaságok jelenléte indokoltá teszi olyan rendszerek létjogosultságát, mint pl. az „Open Glider Network”. Bárki csatlakozhat a rendszerhez, így nem csak egyre nagyobb felhasználó réteg alakul, hanem egyre több információk lehet légitársaságokról, drónok repülési helyzeti adatairól, akik használják. A legtöbb pilóta nélküli légitársaság nem rendelkezik olyan fedélzeti jeladóval (különösképpen a 2024. január 01. előtt gyártottak) például ADS-B adó-vevővel, amely valós idejű adatokat képes sugározni a környezetükben közlekedők számára. Így szinte lehetetlen őket észlelni és nyomon követni. E probléma egyik hatékony megoldását az Open Glider

Network (OGN) hálózatba történő regisztrációja és a rendszer használata kínálja. Az OGN hálózati lefedettséggel rendelkező területeken feltéve, amennyiben a légitársaságok fedélzetén van elhelyezve OGN jeladó (tracker) akkor „láthatóvá válhatnak” különböző megjelenítésre alkalmas felületeken (telefon kijelzője, monitor stb.) így észlelhetővé válhatnak a környezetükben közlekedő egyéb légitársaságok számára.

A rendszer által nyújtotta egyéb előnyök közé tartozik, hogy hatékonyan alkalmazható speciális mentési műveletekben is. Ilyen alkalmazás esetén a legfontosabb az információk gyors és minél pontosabb megszerzése annak érdekében, hogy a mentés minél hamarabb meg tudjon kezdődni.

Ahogy korábban is említésre került légiközlekedés egyik alapelve, a „látni és elkerülni” koncepció. A légitársaságok észlelésére és nyomon követésére hagyományosan radarrendszereket alkalmaznak, amelyek hatékony megoldást nyújtanak. Azon területeken azonban, ahol a radarlefedettség nem megfelelő, lehetőség nyílik másodlagos információs rendszerek adatainak hatékony felhasználására. Ezek a rendszerek jellemzően GNSS-alapú helyzetmeghatározási információkat szolgáltatnak a fedélzeten elhelyezett eszközökről. Az ilyen adatok megosztása a légtérben közlekedő többi szereplővel, valamint továbbításuk a légiforgalmi irányítás felé jelentősen hozzájárul a légiközlekedés biztonságának fokozásához [20].

A rendszer felépítése a 42. ábrán látható.



42. ábra OGN rendszer általános felépítése
(készítette a szerző a [109] alapján)

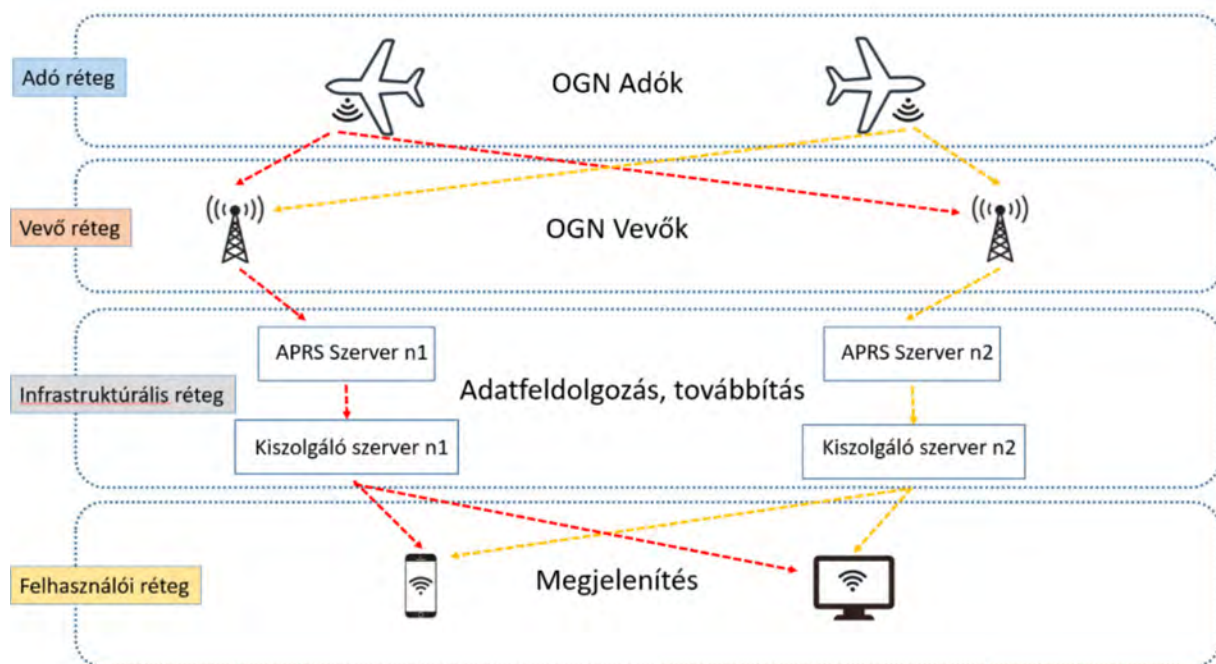
Az OGN rendszer nyílt forráskódú adatátviteli protokollal működik, így bárki számára hozzáférhető és ingyenesen használható, amennyiben rendelkezik a felhasználó a minimális infrastruktúrával.

A rendszer működése alapvetően a légi járművek fedélzetén elhelyezett rádiós eszközök által kibocsátott információk vételén, illetve azok továbbításán alapul. A telepített földi vevőállomások fogadják a jeladóktól érkező rádiós jeleket (amelyek különböző információkat tartalmaznak), majd dekódolják azokat és interneten keresztül továbbítják a központi szerverekre. Ezt követően különböző internetes alapú megjelenítő felületeken keresztül nyomon követhetjük az adatokat küldő légi jármű helyzetét és repülési irányát [110].

A rendszer az alábbi részelemekből épül fel (lásd 42. ábra):

- OGN vevőállomások (földi telepítésű állomások);
- OGN jeladók (tracker), a légi járművek fedélzetén elhelyezve;
- Linux alapú szerverek (APRS - Automatic Packet Reporting System), amelyek adatok fogadására, tárolására és hozzáféréséhez szolgál;
- különböző, az adatokat feldolgozó és/vagy megjelenítő webhelyek és alkalmazások;
- felhasználók és a rendszer fejlesztők.

Az OGN hálózat strukturális felépítése az alábbi 43. ábrán látható.



43. ábra OGN rendszer réteg struktúrája
(készítette a szerző a [S9] alapján)

A rendszer alapvetően három fő rétegre osztható: vevői-, infrastrukturális-, felhasználói réteg. A vevői réteghez kapcsolódnak az OGN tracker jeladók, amelyek a légi járművek alaphelyzeti adatait szolgáltatják további feldolgozás céljából. A vevőállomások között közvetlen kommunikáció nem zajlik, az információcsere az OGN infrastrukturális rétegén keresztül valósul meg. Az APRS-szerverekhez kapcsolódnak a kliensszerverek, amelyek biztosítják, hogy az adatok nyilvánosan hozzáférhetők legyenek különböző webes platformokon, például a Glider RADAR, Live Glidernet vagy Live Safesky felületeken [S9].

Az OGN rendszer fedélzeti komponense egy nyomkövető egység vagy jeladó (tracker), amely képes a légijármű helyzeti koordináta adatait és egyéb repülési adatokat továbbítani a vevőállomásoknak. A jeladók különböző méretűek lehetnek, függően a használt elektronikai alkatrészek méretétől, a tokozástól, illetve a működésükhöz nélkülözhetetlen tápegységektől. Az alapvetően kis energiával működtethető rádiós berendezés működése 868 MHz-en valósul meg [110].

Az OGN rendszer gyakorlati alkalmazásának mérési eredményei az 5. fejezetben kerülnek ismertetésre.

4.7. Következtetések

Légijárművek észlelése és követése több csatornából származtatható. Ahogyan nélkülözhetetlen a repülésben a hagyományos légijárművek felderítése és folyamatos követése, hasonlóképpen kiemelten fontos, hogy ez megvalósuljon a drónok esetében is. Számos módon vagyunk képesek légijárműveket detektálni a fejezetben ismertetett módszerekkel. A kérdés azonban az, hogy melyik módszerrel, továbbá milyen műszaki megoldással vagyunk képesek őket észlelni, illetve nyomon követni?

A drónok – különösen a kis méretű, alacsonyan repülő típusok – észlelése új kihívásokat jelent a hagyományos légiforgalmi megfigyelőrendszerek számára. Míg a klasszikus radarok (elsődleges és másodlagos) alkalmasak a nagyobb, transzponderrel felszerelt repülőgépek detektálására, addig a kis méretű pilóta nélküli légijárművek (UAV-k) sok esetben nem rendelkeznek visszaverő felülettel, illetve nem sugároznak rádiójelet. Ezen eszközök észleléséhez nem elegendő egyetlen technológia alkalmazása, hanem integrált szenzorfüzióra van szükség, amely különféle érzékelőforrásokat (például passzív rádiófrekvenciás vevőket, elektrooptikai kamerarendszereket, infravörös detektorokat, akusztikus mikrofonrácsokat, illetve mesterséges intelligenciával támogatott képfeldolgozást) ötvöz.

Fontos hangsúlyozni, hogy a drónok azonosítását nemcsak a fizikai detektálásuk, hanem az azonosító jeleik (pl. OGN, Remote ID, transzponder jel stb.) alapján is célszerű megvalósítani. A

megbízható és pontos nyomon követés alapfeltétele a multidimenzionális adatgyűjtés és -feldolgozás, amely nemcsak a pozíciót és sebességet, hanem a mozgásdinamikai jellemzőket és viselkedési mintákat is értelmezi. A fejlett nyomon követési algoritmusok lehetővé teszik a célpont mozgásának előrejelzését akkor is, ha az ideiglenesen eltűnik a szenzorok látómezőjéből.

Összefoglalva, a különböző érzékelőplatformok és technológiák együttműködő alkalmazása, valamint az adatok intelligens integrációja képezi a modern légijármű-észlelési és követési rendszerek alapját – különös tekintettel a pilóta nélküli rendszerekre, amelyek egyre növekvő jelenléte új biztonsági és technológiai követelményeket támaszt a repülésirányítási és védelmi rendszerekkel szemben.

5. DRÓNOK VIZUÁLIS LÁTHATÓSÁGÁNAK JELENTŐSÉGE, LÁTHATÓSÁGRA IRÁNYULÓ VIZSGÁLATOK

A pilóta nélküli légi járművek (UAV-k) légtérbeli észlelhetőségének javítása érdekében megfontolandó azok dedikált fénytechnikai rendszerekkel való ellátása. E koncepció létjogosultságát a konvencionális repülésben szerzett több évtizedes pozitív tapasztalatok is alátámasztják. A probléma relevanciáját növeli, hogy különösen a kereskedelmi szegmensben elterjedt, kis méretű (gyakran < 50 cm) drónok vizuális detektálása az emberi szem számára kihívást jelent. Célzott illuminációs technológiák implementálása ezért ígéretes megoldást kínálhat a UAV-k láthatóságának és következésképpen a légtérbiztonság növelésének elősegítésére. Vannak olyan gyártók, akik UA termékeinek a fedélzetén megtalálhatók ezt a célt szolgáló világítások (például DJI Matrice 210), ez főként csak a nagyobb méretű forgószárnyas eszközökre jellemző. Az erre vonatkozó nemzeti és nemzetközi jogszabályi környezet igen szerteágazó. Ennek vizsgálatakor azt tapasztaltam, hogy alapvetően csak az éjszakai műveletekhez szükséges láthatósági feltételeket említik a szakhatóságok. Feltételezésem szerint ezen világítási rendszerek nappali használata is igen hasznos lehet a légtérben közlekedők számára a biztonságos légiközlekedés érdekében.

5.1. Pilóta nélküli légi járművekre „láthatóságára” vonatkozó hazai és nemzetközi szabályozások

A pilóta nélküli légi járművekre (UA) vonatkozó szabályozási rendszerek jellemzően tartalmazzanak tömegalapú osztályozásokat, valamint meghatározzák a műveletek végrehajtásának feltételeit (operátor, helyszín, időpont). Ugyanakkor a kihívást jelentő körülmények – például éjszakai, rossz látási vagy időjárási viszonyok melletti – üzemeltetés szabályozása nem egységes; szembetűnő különbségek léteznek például az USA és az EU joggyakorlata között ezen a téren. Tehát felmerülhet a kérdés, hogy szükség volna-e hatékonyabban szabályozni, adott esetben egységesíteni a drónok nappali és éjszakai üzemeltetésére vonatkozó láthatóságukat támogató jogszabályi környezetet annak érdekében, hogy kevesebb drón incidens forduljon elő világszerte?

5.1.1. Az európai uniós jogszabályi környezet

Az Európai Unióban a közepes kockázatú UAS operációk esetében a járművek külső világítását az EASA „Light-UAS.2530 UA External lights” előírása szabályozza. Ez definiálja a szükséges fedélzeti fényforrások típusát, színét és intenzitását, külön kitérve a helyzetjelző és az összeütközés-elleni fényekre. A helyzetjelző fények elhelyezésére és szinkódolására (bal-vörös, jobb-

zöld, hátul-fehér) vonatkozóan a dokumentum a konvencionális légiközlekedésben hatályos előírásokat és szabványokat követi. Az ütközés elkerülést szolgáló fényeket a légijárművek azon részén kell elhelyezni, ahonnan jól érzékelhetők bárki, de legfőképpen a közvetlen környezetében közlekedő légijárművek hajózó személyzete számára. Mivel ezek a légijárművek úgy nappali, mint éjszakai üzemeltetésre is hivatottak, így indokolt lenne látni őket napszaktól függetlenül. Ez főként igaz korlátozott látási viszonyok esetén, mivel ebben az esetben egy másik légi járművel való összeütközésnek sokkal nagyobb a valószínűsége. A legfontosabb ezen világításokra vonatkozólag a következők:

- Az UA-t érzékelő meg tudja különböztetni egy pilótával vezetett, hagyományos légijárműtől.
- Továbbá ezeknek a fényeknek elegendő időt kell, hogy biztosítsanak egy másik légijármű számára az ütközés elkerülésére.

2023. január 26-tól új EU-s szabályok léptek életbe, melyeknek a lényege, hogy a drónok számára legyen biztonságos légtérkörnyezet (U-space), amelyben tevékenységüket, feladatukat végre tudják hajtani. E légtér kialakítása többek között elősegíti az összetettebb és nagyobb távolságú repülési feladatok végrehajtását, továbbá megteremti a pilóta nélküli és a hagyományos légi járművek biztonságos működését ugyanazon környezetben, ezáltal megvalósulhat adott helyen és időben az ún. közös üzem [S8][111].

5.1.2. Nemzetközi jogszabályi környezet

Az FAA általa kiadott jogszabály 14 CFR (Code of Federal Regulations) 107. részében taglalja azokat az előírásokat és egyben követelményeket, amelyeket alkalmaznia kell minden olyan drónnak, amely 22,68 kg-nál (50 lbs) kisebb tömegű. Ebben többek között az alábbi előírások szerepelnek, amelyeknek egyrészt meg kell felelnie minden pilóta nélküli légijárműnek, továbbá amelyeket biztosítani kell a drón üzemeltetőjének a repülések folyamán, nevezetesen:

- szürkületben és vagy napnyugta után történő repülés esetén a drónnak rendelkeznie kell ütközés elkerülését támogató világítással;
- biztosítani kell a drónoknak a jó láthatóságot három mérföldről (mintegy 4,8 km-ről) a fedélzetén elhelyezett jelzőfényeknek köszönhetően;
- mindezek megléte esetén a repülési művelet az éjszaka folyamán 400 ft (mintegy 120 m) alatti repülés esetén engedélyezett stb. [S8][112]

5.1.3. Hazai jogszabály környezet

A pilóta nélküli légijárművek hazai jogszabályi keretrendszerét alapvetően az Európai Bizottság 2019/947 (a pilóta nélküli légi járművekkel végzett műveletekre vonatkozó szabályokról és eljárásokról) és 2019/945 (a pilóta nélküli légijármű-rendszerekről és a pilóta nélküli légijármű-rendszerek harmadik országbeli üzemeltetéséről) rendelete határozza meg, amelyek egy korábbi fejezetben már ismertetésre kerültek. Ezek az EU-s rendeletek 2021. február 10.-én léptek hatályba Magyarországon. A 945-ös rendelet kimondja, hogy éjszakai művelet esetén, egyrészt rendelkezni kell a drónnak az irányíthatóságát segítő fényekkel, továbbá rendelkeznie kell még olyan világítással, aminek segítségével megkülönböztethető egy pilótával vezetett repülőgéptől [S8].

A nemzetközi és a hazai jogszabályok éjszakai műveletre vonatkozó követelményei a 13. táblázatban került összegzésre.

Hazai (EU-s) szabályozás ⁴²	Nemzetközi EU-s szabályozás ⁴³	Nemzetközi USA szabályozás ⁴⁴
Az UA legyen megkülönböztethető a pilótával vezetett repülőgépektől.	Éjszakai repülés folyamán jól látható fényekkel kell, hogy rendelkezzen a drón.	Szürkületben vagy napnyugta után a drónnak rendelkeznie kell ütközés elkerülését szolgáló fénytechnikai rendszerrel.
Rendelkezni kell a drónnak az irányíthatóságát szolgáló fényekkel.	A helyzetjelző fényeknek és vagy az összeütközés gátló fényeknek olyan intenzitásúnak (villogva kell működnie) kell lennie, hogy időben érzékelhető legyen egy másik légijármű számára az ütközés elkerülése érdekében.	Minimum három mérföldes (> 4,8 km) láthatósága, az „eszköznek”.
Rendelkezni kell a drónnak egy zöld villogó lámpával, amely megkülönbözteti őket a hagyományos repülőgépektől.	A helyzetjelző fényeknek tartalmaznia kell egy piros színű (bal) egy zöld színű (jobb) illetve egy fehér színű fényforrást.	Éjjel 120 m alatti repülés engedélyezett.

13. táblázat Drónok éjszakai műveleteire vonatkozó hazai-és nemzetközi jogszabályok (készítette a szerző az [S8] alapján)

⁴² 2019/945. Európai Bizottság rendelet

⁴³ EASA Light-UAS.2530 UA External lights

⁴⁴ FAA 14CFR Part 107

A fenti táblázatból látható, hogy az EU-s szabályozás nem határozza meg, hogy milyen távokról kell, hogy érzékelhető legyen a drón a repülés során. Ezen túl a jogszabályokat tanulmányozva nem talákoztam olyan résszel, amely a nappali repülésekhez is előírná az összeütközés gátló fények kötelező használatát.

5.2. Hagyományos légitársaságok fénytechnikai rendszereire vonatkozó előírások

A légitársaságokra vonatkozó kötelezően előírt fénytechnikai rendszerek és azok alkalmazása már évtizedek óta előírásoknak megfelelően teljesülnek. E rendszerek elsődleges funkciója a légitársaság vizuális észlelhetőségének biztosítása a légi forgalomban részt vevő egyéb szereplők számára. A fokozott láthatóság révén szignifikánsan csökkenthető a légitársaságok közötti veszélyes megközelítések és összeütközések bekövetkezésének valószínűsége. Valamennyi konvencionális légitársaság kötelezően felszerelendő a vonatkozó légügyi előírásoknak megfelelő, valamint a típusalkalmassági bizonyítványában jóváhagyott specifikációjú ütközésgátló és navigációs fénytechnikai rendszerekkel.

Az Amerikai Egyesült Államokban a légitársaságok fénytechnikai rendszereire vonatkozó jogszabály előírásokat a Szövetségi Szabályozási Kódex (CFR⁴⁵) tartalmazza, amelyet a Szövetségi Nyilvántartási Hivatal (OFR⁴⁶) tesz közzé.

A továbbiakban két fénytechnikai rendszerre (későbbi fejezetben háromra) szeretném leszűkíteni a vizsgálatomat, az egyik a helyzetjelző vagy ismertebb nevén navigációs fények, a másik pedig az összeütközésre figyelmeztető, más néven összeütközést gátló fények, melyekre a Szövetségi Kódexben az 1950-es évekig visszamenőleg találtam erre vonatkozó előírásokat.

Közülük a legelső 1957-ben található, amelyek a helyzetjelző fényekre és az összeütközést gátló fényekre határoztak meg különböző előírásokat [113]. 1964-ben már találtam feljegyzést arról, hogy a helyzetjelző fényeknek piros, zöld és fehér színűeknek kell lenniük (REF. FAR 23.1397) [114]. Találtam előírásokat összeütközést gátló fényekre vonatkozó további előírásokra is (REF. FAR 23.1401) [115].

5.2.1. Hagyományos légitársaságok fénytechnikai rendszerei

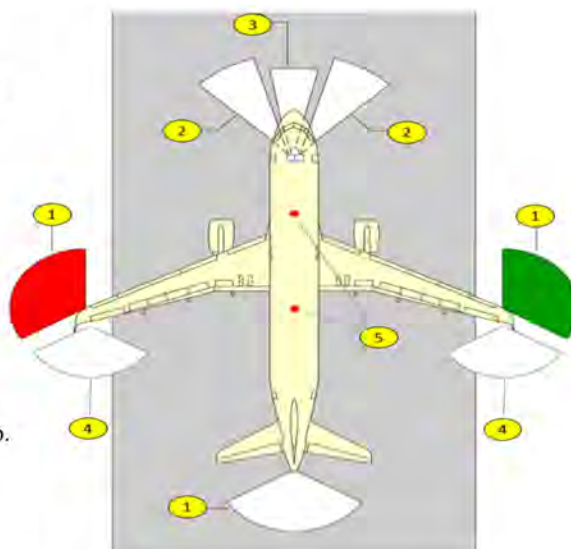
A következőkben ismertetem a hagyományos légitársaságok fedélzetén megtalálható fénytechnikai rendszereket, melyek elrendezését egy általános utasszállító légitársaságon az 44. ábra szemlélteti.

⁴⁵ CFR - Code of Federal Regulations - Szövetségi Szabályzatok Kódexe

⁴⁶ OFR - Office of the Federal Register - Szövetségi Nyilvántartási Hivatal

Repülőgépek fénytechnikai rendszerei:

1. navigációs fények (navigation or position lights);
2. fel-és leszálló fények (take off and landing lights);
3. gurulófények (taxi lights);
4. villogófények (strobe lights);
5. ütközésgátló fények (beacon lights, anti-collision), stb.



44. ábra Repülőgépek fénytechnikai rendszerei
(készítette a szerző a [S8] alapján)

Az ábrán látható különböző fénytechnikai rendszerek közül az alábbi háromra szeretném leszüktíteni vizsgálatomat: navigációs-vagy helyzetjelző fények, a villogó fények, az ütközést gátló fények. Mindhárom rendszernek fontos szerepe van a repülőgépek láthatóságában. Van közöttük olyan, amiket a nap bármely szakaszában használni kell, és van olyan, amelyet csak rossz időjárási viszonyok esetén, vagy éjszaka. A fények használatának alapvető célja, hogy a repülőgép a hajtóműindításától kezdve, a gurulóutakon történő közlekedésen át, a felszállástól a leszállásig javítsák a repülőgép vizuális észlelhetőségét a környezetében tartózkodók számára.

A *navigációs vagy helyzetjelző fények* (navigation lights) feladata, hogy a földön és a levegőben növeljék a légijármű láthatóságát alapvetően éjszakai repülés során. Ezeket a repülőgépen, annak legtávolabbi pontjain kell elhelyezni úgy, hogy a repülési irány szerint a bal oldali szárnyvég pirossal, a jobb oldali szárnyvég zöld színnel, a repülőgép leghátsóbb pontja pedig fehér színnel legyen „megjelölve” (lásd 45. ábra).



45. ábra Repülőgépek helyzetjelző-és villogó fényeinek szögtartománybéli lefedettsége
(készítette a szerző az [S8] alapján)

A légijárművek folyamatos, 360°-os horizontális láthatóságának biztosítása érdekében a navigációs fényrendszer úgy van konfigurálva, hogy a szárnyvégeken elhelyezett (jobb oldali/starboard és bal oldali/portside) fények a légijármű hossz tengelyétől kifelé mérve 110°-os szektorban sugároznak, míg a farokfény a fennmaradó 140°-os hátsó szektort fedi le.

A légijárművek külső világítási rendszereinek egy másik fontos elemét képezik a nagy fényerejű *villogó fények (stroboszkópok)*, melyek telepítése – a helyzetjelző fényekhez hasonlóan – jellemzően a légijármű legkülső pontjain (szárnyvégek, farokkúp, esetenként a törzs egyéb pontjai) történik. A folyamatosan világító és színes helyzetjelző fényekkel ellentétben a stroboszkóp rendszerek kizárólag fehér, nagy intenzitású, periodikusan ismétlődő villanásokat bocsátanak ki; a szárnyvégi egységek tipikus villogási frekvenciája másodpercenként három, míg a farokrészen vagy törzsen elhelyezetteké másodpercenként kettő. Funkcionálisan ezek a fények az ütközésselhárító (*anti-collision*) fénytechnikai rendszerek kategóriájába tartoznak, céljuk a légijármű észlelhetőségének fokozása.

A légijárművek biztonságos üzemeltetésében kritikus szerepet játszik az *összeütközés elkerülésére figyelmeztető fényrendszer (anti-collision/beacon lights)*, melynek használata a napszaktól függetlenül kötelező. Az optimális láthatóság érdekében e fényeket a törzs felső és alsó középső részén, a szárnyvégeken, valamint a függőleges vezérsík legmagasabb pontján helyezik el. A rendszer célja a légijármű vizuális prominenciájának növelése, ezáltal a veszélyes megközelítések és ütközések valószínűségének minimalizálása. Meghatározó eljárási elem, hogy a földi személyzet figyelmeztetése érdekében a fények bekapcsolása a hajtóművek indítása előtt megtörténik, jelezve a légijármű aktív állapotba lépését.

Az előírt specifikációk szerint e fényeknek minimum 400 cd effektív fényerősséggel kell rendelkezniük, amely 360°-os lefedettséget biztosít a horizontális (azimutális) síkban. Az egyes fényforrások vertikális sugárzási szöge a horizontális referenciához képest $\pm 75^\circ$ kell, hogy legyen (az 1977 előtti követelmény $\pm 30^\circ$ volt). A pontos, előírt fényerősség érték az alábbi formula segítségével határozható meg:

$$I_e = \frac{\int_{t_1}^{t_2} I(t) dt}{0,2 + (t_2 - t_1)}$$

ahol:

I_e = effektív intenzitás (gyertyák).

$I(t)$ = pillanatnyi intenzitás az idő függvényében.

$t_2 - t_1$ = felvillanási időintervallum (másodperc).

A világítás erősségét úgy kell kialakítani, hogy az adott szögtartományhoz (lefedettséghez) adott kandella érték tartozzon a fenti képlet alkalmazásával [113][115][S8].

5.2.2. Kereskedelmi drónok fénytechnikai rendszerei

A jelen kutatás eredményei alapján megállapítható, hogy a pilóta nélküli légijárművekre (UAV-k) vonatkozóan jelenleg hiányzik az egységes szabályozás mind a kötelezően előírt fénytechnikai rendszerek típusára, mind azok repülési műveletek során történő alkalmazásának körülményeire és időbeli követelményeire vonatkozóan. Bár a kereskedelmi forgalomban kapható drónok többsége rendelkezik LED-alapú világító egységekkel, ezeket a gyártók jellemzően állapotjelzőként (status indicator) – a működési mód, rendszerállapot vagy egyéb funkciók vizuális visszajelzésére – definiálják, és alapvető funkciójuk eltér a hagyományos légijárműveken alkalmazott, láthatóságot és ütközésselhárítást szolgáló fénytechnikai rendszerekétől.

A drónok fedélzetén elhelyezett fények alapvetően négy funkció szerint csoportosíthatók (lásd 46. ábra):

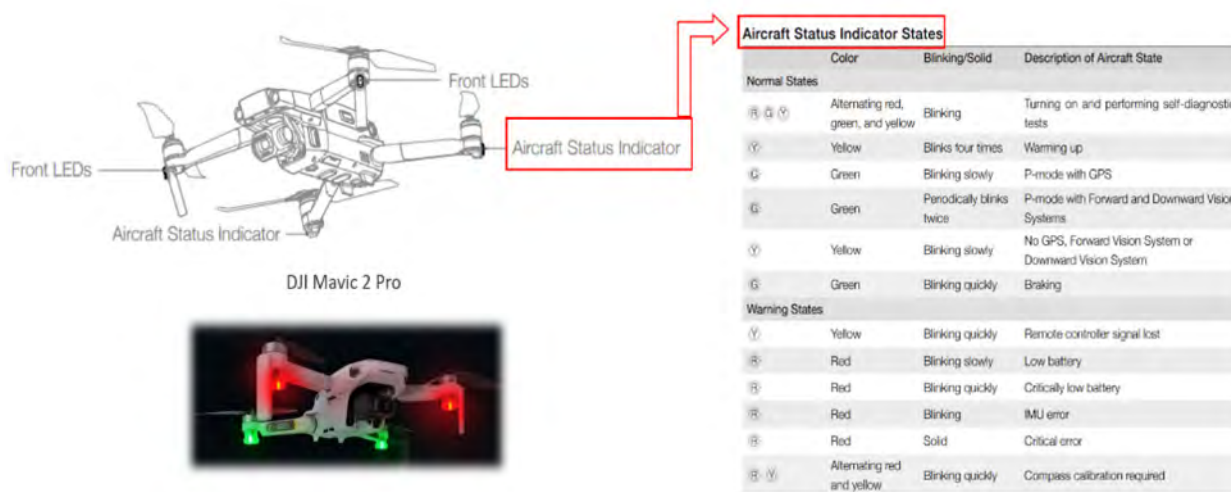
1. tájékozódást, navigációt támogató fények;
2. üzemmód- és rendszerállapot jelző fények;
3. összeütközés elkerülését támogatófények;
4. egyéb kiegészítő fények.



46. ábra Drónok fedélzeti világításainak funkció szerinti csoportosítása
(készítette a szerző a [S8] alapján)

Megállapítható, hogy a kereskedelmi forgalomban kapható pilóta nélküli légijárművek esetében a szabványos navigációs és ütközésselhárító fénytechnikai rendszerek alkalmazása nem általános gyakorlat. A gyártók által integrált LED-világítások elsődlegesen a felhasználói orientációt segítik, azonban ezen megoldások nem helyettesítik a hagyományos légijárművek előírásoknak megfelelő helyzetjelző fényeit sem specifikációjukban, sem funkciójukban. Ezen túlmenően, ezen LED-fényforrások gyakori funkciója az operatív állapotok (status indication) vizuális kommunikációja a felhasználó felé. Ez azt jelenti, hogy a gyártók meghatározott szín- és időbeli (villogási) kódokat rendelnek a különböző rendszerállapotokhoz, amelyek alapján a felhasználó azonosíthatja a légijármű aktuális státuszát, az alábbi 47. ábra szerint:

- a repülési üzemmód kijelzése (P-mode, S-mode, A-mode);
- alacsony/kritikus akkumulátorszint;
- adatkapcsolat erőssége a drón és a távirányítója között;
- RTH (Return To Home) aktiválása;
- az iránytű-kalibráció szükségessége;
- IMU-hiba (Inertial Measure Unit – inerciális mérőegység) stb.



47. ábra Drónok „navigációs jellegű” fénytechnika rendszere
(készítette a szerző)

Az 47. ábra demonstrálja a rendszerállapotok és a hozzárendelt fényjelzés-színek közötti korrelációt, amely lehetővé teszi a felhasználó számára az aktuális fedélzeti státusz és folyamatok azonosítását. Lényeges azonban kiemelni, hogy ezen állapotjelző fények sem működési elvükben (funkciójukban), sem a kibocsátott fény intenzitásában (fényerősségében) nem felelnek meg a konvencionális légijárműveken alkalmazott, szabványosított navigációs fények követelményeinek, és így nem tekinthetők azok funkcionális helyettesítőinek. [S8].

5.3. Összeütközést megelőző LED-es villogó lámpák- és OGN tracker hatékonyságának a tesztelése

Drónok használatakor azzal szembesülünk, hogy relatíve kis méretükből adódóan nem nagy távolságra vagyunk képesek tőlünk reptetni ezen eszközöket. Műszaki paramétereit tekintve ezen eszközök képesek akár több kilométer távolságban is üzemelni a felszálló helyüktől. Azonban a drónokra vonatkozó nemzeti jogszabályi keretrendszerben megtalálható, hogy alapesetben a „Nyílt kategóriákon” (A1-A2-A3) belül látótávolságon belül kell üzemeltetni (VLOS-ban) a pilóta nélküli légi járművet (kivéve a külön elbírálás alá eső eseti légtér igénylés esetén). Alkalmazásuk során, ahogy fokozatosan eltávolodik tőlünk a drón, azt tapasztaljuk, hogy számos tényezőtől adódóan (méretük, színük) egyre nehezebben tudjuk őket szemmel nyomon követni. Ezt számos tényező befolyásolja, többek között az érzékelő szerveinknek a pontossága (láthatósága), továbbá az emberi agynak a felbontóképessége. Nehezíti a drónok szemmel történő nyomon követését, hogy könnyen beolvadnak a repülési környezetükbe, pl. fák lombkoronáiba. Továbbá észlelhetőségüket nagyban befolyásolja a repülési környezet pl. környezeti látási fényviszonyok, látástávolság, napszak. Nem csak a földről nem vagyunk képesek látni őket nagy távolságokban, hanem hasonlóképpen a levegőből sem. Mindez gátolja annak esélyét, hogy egy légi jármű személyzete láthassa őket, amennyiben a repülése folyamán találkozik velük.

A kereskedelemben kapható kisebb méretű drónok (DJI Phantom 3/4; DJI Mini 2/3; DJI Mavic stb.) tengelytáv mérete⁴⁷ néhány tíz centiméter, például a DJI Mini 2-nek 21 cm, a DJI Mavic 3-nak pedig 38 cm. A térbeli észlelhetőségüknek a határa a Mini 2-nek 90 m, míg a Mavic 3-nak 144 m. Továbbá egy mezőgazdasági drónnak (DJI Agras T10) is csak közel 900 m az észlelhetőségi távolsága. Ez két dolgot is eredményez. Egyrészt, hogy ezen észlelhetőségi távolságból történő túlrepülés esetén nem teljesül a látótávolságon belüli feltétel, azaz a VLOS-ban történő üzemeltetés feltétele. Másrészt, hogy kereskedelemben kapható viszonylag nagy méretű forgószárnyas drónok (DJI Agras T10) is viszonylag csak kis távolságból (1km-en belül) láthatók szabad szemmel [21].

Azonban, ha rendelkeznének a drónok fedélzetükön összeütközést gátló fényforrással, az nagyban segíteni az emberi szem számára észlelésüket, ezáltal láthatóságukat. Ezáltal megnövelhető lenne az észlelhetőségi távolságuk, ami hozzájárulhat ahhoz, hogy még időben észlelhetők le-

⁴⁷ négy meghajtású forgószárnyas drón esetén az átlósan elhelyezett motorok középpontjai közötti távolság

gyenek pl. egy másik légi jármű személyzete számára. Ebben az esetben csökken annak a valószínűsége, hogy egy drón veszélyesen közelségbe kerüljön egy idegen légi járművel, esetleg összeütközzön vele.

Az észlelhetőségi távolság növelése céljából kezdtem el foglalkozni a drónokon alkalmazott fénytechnikai rendszerekkel. A kutatásom folyamán azt tapasztaltam, hogy a legtöbb kisméretű a kereskedelembe forgalmazott drónok (DJI Phantom 3/4; DJI Mini 2/3 stb.) fedélzetén csak olyan LED világítások vannak, amik alapvetően ún. státusz indikátor funkciókat töltenek be, amelyek légi rendszerek különböző üzem-és rendszerállapotait jelző fénytechnikai megoldások. Ennek részletei a korábbi fejezetekben már ismertetésre kerültek.

A terepen elvégzett méréseknek a célja, különböző teljesítményű összeütközést gátló LED-es villogó lámpák láthatóságuk hatékonyságának a tesztelése nappal és éjszaka, továbbá az észlelhetőséget elősegítő egyben a repülésbiztonságot növelő OGN jeladók alkalmazásának a tesztelése. A méréseket több alkalommal és több helyszínen végeztem el (későbbiekben kifejtve). A mérések folyamán az alábbi kérdésekre kívántam választ kapni:

- A kifejlesztett LED-es lámpák milyen messziről érzékelhetők az emberi szemek számára nappal és éjszaka?
- Milyen messziről érzékelhetők – ezáltal láthatók – az egyes lámpák földről és levegőből mérve „nézve” egyaránt?
- Milyen mértékben (távolságból, magasságból) láthatók a mérés alanyát képező LED-es villogók a drónok kijelzőjén keresztül szemlélve?
- Milyen mértékben láthatók a LED-es villogók egy másik pilóta által vezetett vitorlázó repülőgép fedélzetéről?

A mérésekbe bevont személyek száma minimum három fő volt. A LED villogó lámpák (továbbiakban L1; L2) láthatóságát és azok mértékét két személy végezte az érzékszerveikre hivatkozva. Négy féle mérési sorozatot hajtottam végre (továbbiakban M1-M4).

A LED-es villogók hatékonyságának a mérése több lépcsőben, négyféle mérési összeállításban valósultak meg, amelyek a következők:

M1) Földre telepített villogó lámpák láthatóságának nappali-éjszakai földi mérése (5.4. fejezet);

M2) Földre telepített villogó lámpák láthatóságának légi mérése drónnal (5.5. fejezet);

M3) Drónra telepített villogó lámpa (OGN jeladó) láthatóságának légi mérése drónnal (OGN jeladó) (5.6. fejezet);

M4) Drónra telepített villogó lámpa (OGN jeladó) láthatóságának légi mérése repülőgéppel (OGN jeladó) (5.7. fejezet);

A mérésekhez különböző eszközöket és rendszereket használtam, amelyeket az egyes mérések-nél külön-külön ismertetek.

A kutatás és a mérések során két kulcsfontosságú rendszer került alkalmazásra. Az egyik az Open Glider Network (OGN) rendszerre alapult, amely egy mobil vevőállomásból és különböző fedélzeti OGN jeladókból állt. A másik pedig a szerző által kifejlesztett és tesztelt, kétféle konfigurációjú, ütközésselkerülést támogató L1 és L2 ledes villogó jelzőfények volt.

5.3.1. A mérésekhez használt RS-900 OGN vevőállomás, valamint „OGN trackerek” ismertetése

A vevőberendezés alkalmas a közforgalmi kisgépes repülésben résztvevő vitorlázó-, ultrakönyű-, továbbá a ballon- és a siklórepülésben használt ADS-B; FLARM; OGN jeladó berendezések rádióadásainak vételére és a pozíciót sugárzó légijármű monitorján történő térképes megjelenítésére (lásd 48. ábra).



48. ábra RS-900 OGN mobil vevőállomás
(készítette a szerző)

A vevőberendezés saját autonóm antennáival képes venni:

- **ADS-B** berendezések által sugárzott adatokat;
- **FLARM** eszközök által sugárzott adatokat;
- valamint **OGN** nyomkövetők (trackers) által sugárzott adatokat.

A vett adatokat a berendezés továbbítja más hálózatok (Flightradar24; PiAware, ADS-B Exchange, OGN) számára, ahonnan további adatokhoz is hozzáfér.

A vevőberendezés különlegessége, hogy elsődleges funkcióit, a vett pozíciók megjelenítését az ADS-B, FLARM, OGN adásokat fogadó szerverekkel való internetkapcsolat nélkül is ellátja.

Ez két területen jelent rendkívüli előnyt:

- ha valamilyen ok (pl. a szerverek leterheltsége) miatt nem érhető el a net alapú adat, (a felhasználó számára a szükséges adatokat saját antennacsoporttal vesszük a felhasználás helyszínén), vagy
- ha az internetes hálózat esetleges leterheltsége miatt az adatforgalom lassú. (üzemi tapasztalatok szerint a FLARM és az OGN adások estében a vett adatok szerverre feltöltése, onnan a megjelenítő felületre annak visszatöltése, feldolgozása és megjelenítése 15-25 sec késedelmet is jelenthet.

A peTra RS-900 vevőberendezés a légijárművek fedélzetén működő adókból érkező adatokat a GPS időbélyeg (a pozícióadat) keletkezését követő 1-2 másodperccel megjeleníti a felhasználó számára.

Az OGN rendszer szervereiről elérhető webes felületek (viewair.eu; glidertracker.de; ogn.hu; live.glidernet.org; kisstech.ch), megjelenítik a légijárművek pontos pozícióit a szerverekbe feltöltött és azoktól kapott adatok alapján. Ha a jeladókhöz további adatok is elérhetők, akkor a megjelenítők a megadott ikonnal és lajstromjellel jelenítik meg az eszközt a térképen.

A vevőállomáshoz az alábbi trackerek tartoznak, amelyek lehetővé teszik a légijárművekre történő felhelyezését, majd ezt követően a webes felületen történő nyomon követését:

- TRB82B OGN jeladók: A jeladók beépített 18650 típusú, 3,200 mAh kapacitású akkumulátorral és BME 280 beépített barometrikus szenzorral készült. Az akkumulátorral a készülék 48 óra üzemidővel rendelkezik. A jeladó nagyobb méretű drónokra, vitorlázó repülőgépekre is integrálható.
- Nyomásszenzorral szerelt OGN drón jeladó, amely beépített ECOCELL 3,7V 502535P típusú 400mAh akkumulátort tartalmaz. A jeladó kisebb méretű merev-és forgósárnyas drónok fedélzetére is telepíthető [116].

5.3.2. A mérések alapját képező L1 és L2 LED-es villogó lámpák ismertetése

A kutatásom részét képezte megtervezni, legyártani és összeépíteni különböző teljesítményű LED-es villogókat (L1; L2), amelyeket elsőként földi tesztelésnek vettem alá. Majd azt követően pilóta nélküli légijármű fedélzetére integrálva teszteltem láthatóságukat földről és levegőből egyaránt. A kutatásom folyamán a mérés előkészületeiben a feltételezésem az volt, hogy egy drón fedélzetére elhelyezve ezeket az összeütközést gátló villogókat a drón észlelhetőbbé válik a közvetlen környezete számára.

Ehhez először ismertetem a LED-ekre vonatkozó legfontosabb műszaki adatokat, majd ezt követően azt az elektronikát, amely működteti a LED-eket, végül pedig a házat, amiben helyet foglalnak az elektronikai alkatrészek és akkumulátor, továbbá azt a hordozó geometria testet, amire a LED-ek rögzítve lettek. A LED-es villogók kétféle kivitelben készültek: L1 - 10x10W; L2 - 5x20W (lásd 49. ábra)



49. ábra L1-L2 LED villogók
(készítette a szerző)

Felépítésük:

- Két különböző típusú COB LED 10x10W (L1) és 5x20W (L2);
- 2 db 5 csatornás mikrokontroller-vezérelt LED meghajtó áramkör;
- 2 db ház (két részből áll zártszelvény+3D nyomtatott PLA anyagból);
- egyéb kiegészítő elektronikai alkatrészek.

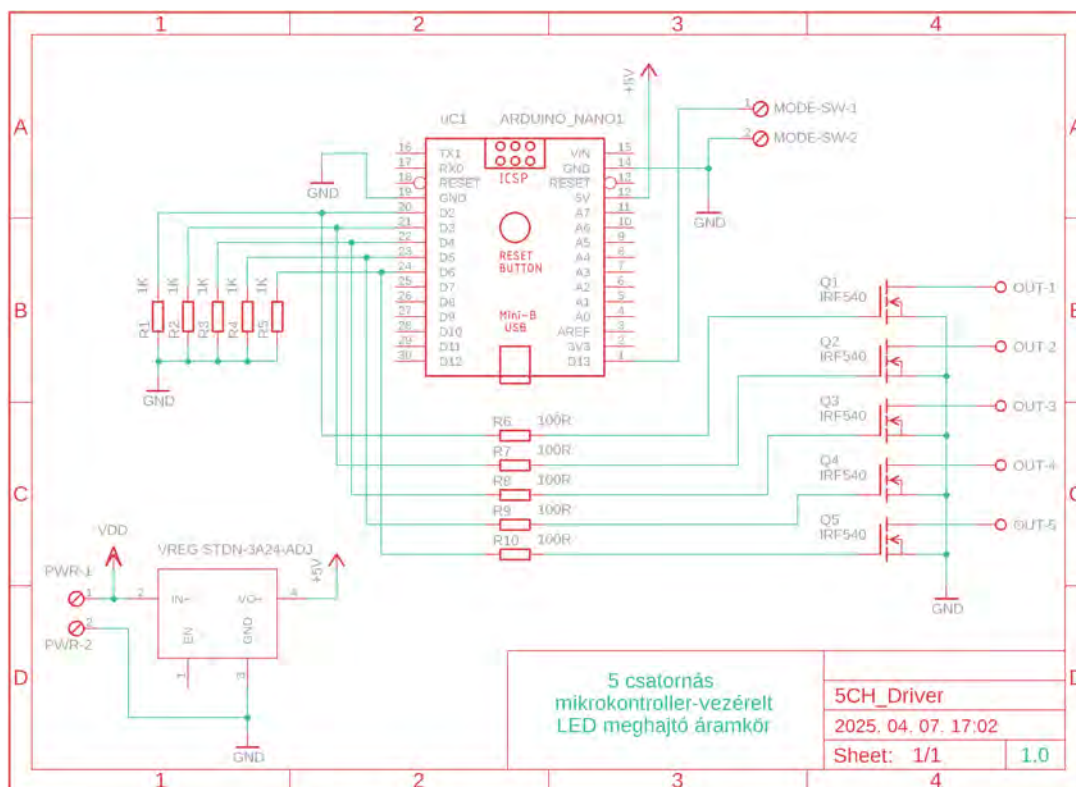
A két különböző típusú LED műszaki paramétereit az alábbi 14. táblázat tartalmazza:

	COB LED	COB LED
Led teljesítménye [W]	10 W	20 W
Színhőmérséklet [K]	5800-6500 K	5800-6500 K
Fényáram [lm]	95-110 lm/W	95-110 lm/W
Meghajtó feszültség [V]	9-12 V	30 -36 V
Áramerősség [mA]	300 mA	600 mA
Méretetek [mm]		

14. táblázat COB LED-ek műszaki paraméterei
(készítette a szerző)

A laboratóriumi mérések alkalmával a gyártó által megadott paraméterektől némi eltérést tapasztaltam. Illetve a megadott feszültség-, és áramviszonyok is előre vetítik, hogy a feltüntetett teljesítmény túlzó, még úgy is, hogy ezek az ajánlott maximum értékek. L1 esetén 12,6 V feszültség és 230 mA áram lett állítva (2,76 W), míg L2 esetén 35 V és 250 mA (8,75 W). Az ezen értékek feletti üzemeltetés a LED-ek gyors tönkremeneteléhez vezetnének.

Mindezek ellenére a továbbiakban a teljesítmények feltüntetésénél a névlegessel szemben a gyári értékekre fogok hivatkozni. Azonban a fényáram számításánál természetesen a névleges értékeket kell figyelembe venni. A villogók kapcsolási és bekötési rajza (lásd 50. ábra)



50. ábra L1-L2 LED-es villogók vezérlő áramkör kapcsolási rajza
(készítette a szerző az Eagle szoftverrel)

Az 50. ábrán látható áramkör a két verzió közös részét tartalmazza, az egyes kapcsolókat nem, csak az üzemmódváltó csatlakozóját. A nano mikrokontroller modul az alkalmazott AT-MEGA328P mikrokontrollert és annak alapműködéséhez szükséges áramköri elemeket tartalmazza, amely így közvetlen (USB-n keresztül) programozhatóságot tesz lehetővé. Ez egyes LED-eket meghajtó FET-ek kapu elektródái rendre a D2-D6 kivezetésekre kerültek, amelyek kimenetként lettek felprogramozva. Az R1-R5 ellenállások a teljesítmény FET-ek parazita kapacitásait segítik kisütni. Míg az R6-R10 ellenállások a kontroller kimeneteinek az elválasztását segíthetik. Utóbbiak elhagyhatók, ekkor 0R jelzésű rövidzárral helyettesítendők.

A VREG jelzésű kapcsolóüzemű (500 kHz) feszültség stabilizátor a mikrokontroller saját, a nyákra épített stabilizátorát (AMS1117) helyettesíti, amely áteresztőtranzistoros kivitel lévén körülbelül 10-11 V felett már erősen melegszik (a gyártó szerint maximum 15 V, ami a gyakorlatban nem elérhető). A mikrokontroller áramát önmagában 12 V körül még elviseli, azonban amint az USB-vel is kommunikálni kell, az USB illesztő IC áramával együtt már túlmelegszik és tönkremegy. Lévéen a tápellátásról gondoskodó 3S elrendezésű akkumulátor töltési végfeszültsége 12,6 V, az már túl nagy lenne számára, ezért a VREG jelölésű, nagyobb bemeneti

feszültségtartománnyal rendelkező (maximum 18 V) kapcsolóüzemű típus helyettesíti. Ráadásul a terhelhetősége is az eredeti 0,8 A helyett 3 A, amit viszont nem használunk ki.

Az elrendezés mindkét modellnél közös anódú, a katód felől kapcsoljuk a FET-ekkel a LED-ek áramát.

Külső alkatrészként az ábrán nem szerepel, hogy L2 esetén a működéshez szükséges 35 V anód-feszültséget egy feszültségnövelő DC-DC átalakítóval, ún. Boost konverterrel előállítva. További külső alkatrész az üzemmódváltó kapcsoló, amely a kontroller D13 jelzésű kivezetésére csatlakozik, ami bemenetként lett felprogramozva. A kapcsoló esetén nincs szükség külső felhúzó ellenállásokra, mert az alkalmazott kontroller típus rendelkezik beépített felhúzó ellenállásokkal. A kapcsoló állásától függően válthatunk a két fő üzemmód között.

A két üzemmód:

- „futófény” üzemmód, a felső LED-el kezdődően, majd balról jobbra futófényként haladva, egy forgó fényre emlékeztető működés látható. Az időzítések: 200 ms aktív időtartam, 100 ms várakozás, majd következő LED aktív időtartama stb. Teljes periódus 1500 ms.
- „villogó” üzemmód, az összes LED egyszerre villog. Az időzítések: 200 ms aktív időtartam, 300 ms várakozás, majd újabb 200 ms aktív időtartam, a végén 1800 ms várakozás. Teljes periódus 2500 ms.

Az előzetes tesztek és terepi mérések során a két üzemmód közül a „villogó” üzemmód bizonyult hatékonyabbnak (nagyobb távolságokban volt látható), ezért a következő részben tárgyalt mérések (M1-M4) folyamán ebben az üzemmódban voltak működtetve.

5.4. M1 - mérés: földre telepített villogó lámpák láthatóságának nappali-éjszakai földi mérése

A mérés célja: A legyártott és összeépített LED villogó lámpák (L1; L2) hatékonyságának földi tesztelése nappal és éjszaka.

A méréshez használt eszközök az alábbi 51. ábrán láthatók:



51. ábra M1 mérésekhez használt eszközök
(készítette a szerző)

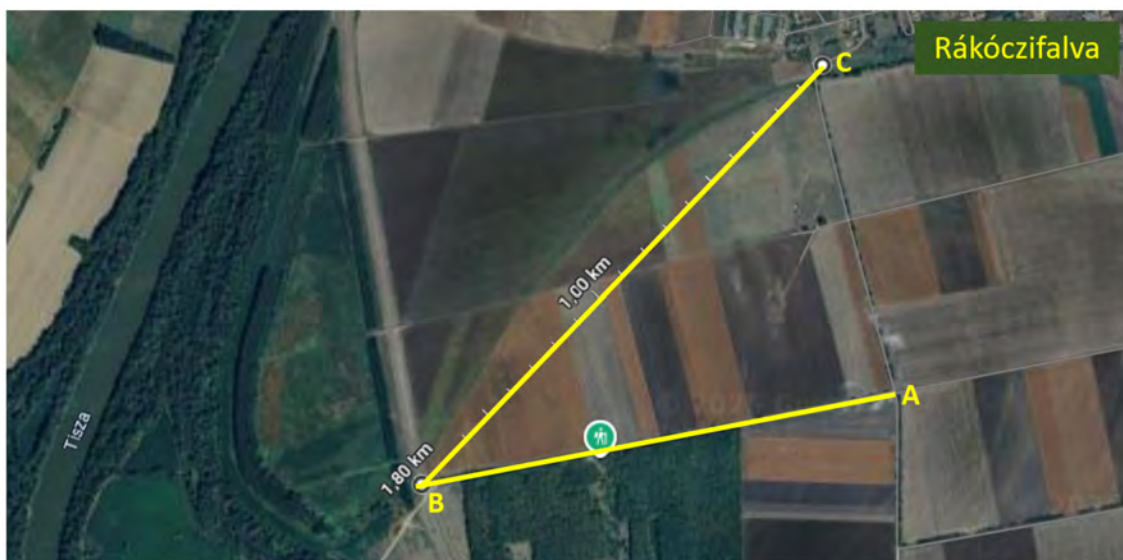
1. L1 (bal o.), L2 (jobb o.) LED villogó lámpák;
2. kamera állvány, egyéb.

A méréseket Rákóczifalván, az alábbi A-B-C pontok GPS koordinátaival magadott helyeken végeztem el (lásd 52. ábra):

A pont koordinátái: 47°04'32.3"N 20°12'53.5"E

B pont koordinátái: 47°04'23.2"N 20°11'43.6"E

C pont koordinátái: 47°05'05.3"N 20°12'42.7"E



52. ábra M1 mérés helyszíne a mérési tartományok megjelölésével
(készítette a szerző a Google Map térkép felhasználásával)

Időjárás jelentés 2025. március 08-án és március 09.-én (METAR⁴⁸):

M1_1 mérés - 2025. március 08.

LHSN 081515Z 09002KT CAVOK 20/M01 Q1015 NOSIG RMK BLU⁴⁹, az alábbi időjárási adatokat tartalmazza:

- szél iránya és erőssége: 90°-ból (K-i) 2 kt (3,7 km/h);
- látótávolság: > 10 km;
- hőmérséklet: 20 °C;
- összegezve: kevés felhőzet, jó látási viszonyok.

M1_2 mérés - 2025. március 09.

LHSN 091545Z 15008KT CAVOK 19/M00 Q1010 NOSIG RMK BLU, az alábbi időjárási adatokat tartalmazza:

- szél iránya és erőssége: 150°-ból (DK-i) 8 kt (15 km/h);
- látótávolság: > 10 km;
- hőmérséklet: 12 °C;
- összegezve: jó látási viszonyok.

⁴⁸ METAR - repülésre vonatkozó adott repülőtérre kiadott aktuális időjárás, amely több időjárási adatot tartalmaz. A METAR távirat fél óránként vagy óránként kerül kiadásra.

⁴⁹ A repülőtér azonosító kódja LHSN; dátum és idő UTC-ben (081515Z); szél iránya és erőssége (09002KT); felhő és láthatóság OK (CAVOK); hőmérséklet/harmatpont; légnyomás; nem várható jelentős változás (NOSIG); megjegyzés (RMK); látótávolság több mint 8000m (BLUE);

A mérés menete: A méréseket két alkalommal végeztem el az említett helyszínen nappal és éjszaka az 52. ábrán megjelölt sárga vonalak mentén. Az A-B szakasz hossza 1,5 km, míg a B-C szakasz hossza 1,8 km. A nappali és éjszakai méréseket 16 db mérési pontban végeztem el, amelyek közül 15 mérési pont AB szakaszon (100 méteres felosztásban), míg a 16. mérési pont a BC szakaszon valósult meg. Ez a szakasz volt a mérés során alkalmazott legnagyobb távolsága.

A villogók láthatóságát vizuálisan, szabad szemmel észleltem. A villogó fények észlelésének a mértékéhez egy szubjektív becslési módszert illesztettem. A láthatóságuk megítéléséhez 1-től 10-ig egy skálázási tartományt rendeltem, amelyet a 15. táblázat szemléltet.

- 9-10 Kiváló
- 7-8 Jó
- 5-6 Elfogadható
- 3-4 Gyenge
- 1-2 Elenyésző

Becslési értékek	Kontraszt	Környezeti láthatóság (adott mérési környezetben)
10-9 Kiváló	nagyon magas	jól látható
8-7 Jó	magas	általában jól látható
6-5 Elfogadható	közepes	elfogadható
4-3 Gyenge	alacsony	észlelhető
2-1 Elenyésző	minimális	minimálisan észlelhető

15. táblázat Mérésekhez használt becslési módszer jellemzői
(készítette a szerző)

A méréseket különböző távolságokban végeztem el. A méréshez kihelyezett villogók láthatóságát 0-tól 1800 m-ig, 100 méterenként fokozatosan távolodva a LED fényforrásoktól vizsgáltam. Ez utóbbi volt az a legnagyobb távolság, ami rendelkezésre állt a helyszínen, figyelembe véve a helyi terepi adottságokat. Ebben a távolságban még biztosított volt a közvetlen rálátás a villogókra (L1; L2). A mérési eredményeket az alábbi 16. táblázatban foglaltam össze:

M1	Nappali mérések				Éjszakai mérések			
	Mérés 1 L1	Mérés 1 L2	Mérés 2 L1	Mérés 2 L2	Mérés 1 L1	Mérés 1 L2	Mérés 2 L1	Mérés 2 L2
100 m	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló
200 m	Jó	Kiváló	Jó	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló
300 m	Jó	Kiváló	Jó	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló
400 m	Elfogadható	Kiváló	Jó	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Kiváló
500 m	Elfogadható	Kiváló	Jó	Kiváló	Jó	Kiváló	Kiváló	Kiváló
600 m	Elfogadható	Kiváló	Elfogadható	Kiváló	Jó	Kiváló	Jó	Kiváló
700 m	Elfogadható	Kiváló	Elfogadható	Kiváló	Jó	Kiváló	Jó	Kiváló
800 m	Elfogadható	Jó	Elfogadható	Kiváló	Jó	Kiváló	Jó	Kiváló
900 m	Elfogadható	Jó	Elfogadható	Jó	Jó	Kiváló	Jó	Kiváló
1000 m	Gyenge	Jó	Elfogadható	Jó	Jó	Kiváló	Jó	Kiváló
1100 m	Gyenge	Jó	Gyenge	Jó	Jó	Kiváló	Jó	Kiváló
1200 m	Gyenge	Elfogadható	Gyenge	Jó	Jó	Kiváló	Jó	Kiváló
1300 m	Gyenge	Elfogadható	Gyenge	Jó	Jó	Kiváló	Jó	Kiváló
1400 m	Gyenge	Elfogadható	Gyenge	Elfogadható	Jó	Kiváló	Jó	Kiváló
1500 m	Gyenge	Elfogadható	Gyenge	Elfogadható	Jó	Kiváló	Jó	Kiváló
1800 m	Gyenge	Gyenge	Elenyésző	Gyenge	Jó	Kiváló	Elfogadható	Kiváló

Kiváló	Jó	Elfogadható	Gyenge	Elenyésző
10-9	8-7	6-5	4-3	2-1

16. táblázat M1 nappali-éjszakai LED villogó lámpák mérési eredményei
(készítette a szerző)

A mérések eredményeinek a kiértékelése nappali és éjszakai tartományra:

A mérés folyamán szerzett adatok alapján látható, hogy más és más távolságokban vagyunk képesek látni a kisebb (L1) és a nagyobb (L2) villogókat. Láthatóságukat alapvetően befolyásolta a távolság, ahonnan észleltük, továbbá a környezeti viszonyoknak a hatása.

A mérési eredmények közül a „Kiváló” és a „Jó” kategóriába tartozó értékek azok, amik meggyőző, egyben elfogadható eredményt mutatnak. A többi kategóriába tartozó értékek minősítése (Elfogadható; Gyenge; Elenyésző) nem elfogadható a vizsgálat szempontjából. Miszerint ezekből a távolságokból nehezen láthatók, észrevehetők a vizsgálat tárgyát képező összeütközést gátló fényforrások.

A két villogó közül a nagyobb teljesítményű LED-ek által működtetett L2-es villogó minden vizsgált távolságban láthatóbbnak bizonyult, főként éjszaka.

A mérések eredményeiből az alábbi következtetéseket állapítom meg:

Az L1-es villogó nappali fényviszonyok alatt 500 m-ig meggyőzően biztosította a láthatóságát a környezete számára. Éjszaka azonban látható volt az összes vizsgált mérési pontban, ezáltal emberi szemmel látható volt 1800 m-ig.

Az L2-es villogó nappali fényviszonyok alatt 1300 m-ig biztosította a láthatóságát a környezete számára. Az éjszakai mérések folyamán látható volt az összes vizsgált mérési pontban 1800 m-ig. A mérési eredmények alapján kijelenthető, hogy ez az L2-es villogó képes biztosítani egy minimum 3 esetleg 4 km-es láthatóságot a környezete számára.

A mérési eredményeket az alábbi tényezők befolyásolták:

- nappali fényviszonyok;
- időjárási körülmények (látótávolság; napos-, borult idő stb.);
- emberi szem detektáló képessége;
- a méréshez használt LED-ek teljesítménye, fényerejük irányítottsága;
- egyéb nem ismert tényező.

5.5. M2 – mérés: földre telepített villogó lámpák láthatóságának légi mérése drónnal

A mérés célja: A legyártott és összeépített LED villogó lámpák (L1; L2) hatékonyságának légi tesztelése nappal.

Méréshez használt eszközök az alábbi 53. ábrán láthatók:



53. ábra M2 mérésekhez használt eszközök
(készítette a szerző)

1. L1-L2 LED-es villogó lámpa;
2. D1 drón: DJI Mini 3.

A méréseket Szolnokon, az alábbi GPS koordinátákkal megjelölt helyen végeztem el:

47°12'44.1"N 20°11'38.0"E

Időjárás jelentés 2025. március 16-án és március 22.-én (METAR):

M2_1 mérés - 2025. március 16. Szolnok:

LHSN 161315Z 31004KT CAVOK 06/01 Q1013 NOSIG RMK BLU, az alábbi időjárási adatokat tartalmazza:

- szél iránya és erőssége: 310°-ból (ÉNY-i) 4 kt (7,4 km/h);
- látótávolság: > 10 km;
- hőmérséklet: 06 °C;
- összegezve: enyhén borult idő.

M2_2 mérés - 2025. március 22. Szolnok:

LHSN 221345Z 14006KT 9999 -RA NSC 11/06 Q1015 NOSIG RMK BLU, az alábbi időjárási adatokat tartalmazza:

- szél iránya és erőssége: 140°-ból (DK-i) 4 kt (11,1 km/h);
- látótávolság: > 10 km;
- hőmérséklet: 11 °C;
- összegezve: jó látási viszonyok.

A mérés menete: A méréseket két alkalommal délelőtti és délutáni időszakban végeztem el. A földre kihelyezett L1-L2 villogók láthatóságát egy DJI Mini 3 (D1) drón kontrolleréhez csatolt mobiltelefon kijelzőjén keresztül vizsgáltam. A mérési pontokat 0-1000 m között vettem fel, majd a villogóktól fokozatosan távolodva (100 méterenként) végeztem el a méréseket. Az értékeléshez egy háromfokozatú minősítést használtam (Kiváló; Jó; Gyenge).

A mérés során szerzett adatok feldolgozását az alábbi 17. táblázatban foglaltam össze.

M2	M2_D1 földön villogó - drón mér drón mérési tartománya: 0 - 1000 m			
Távolság [m]	Mérés 1 L1	Mérés 1 L2	Mérés 2 L1	Mérés 2 L2
100	Jó	Kiváló	Jó	Jó
200	Jó	Jó	Gyenge	Jó
300	Gyenge	Jó	Gyenge	Jó
400	Gyenge	Jó		Gyenge
500		Gyenge		Gyenge
600		Gyenge		Gyenge
700		Gyenge		Gyenge
800				
900				
1000				

Kiváló	Jó	Gyenge
--------	----	--------

17. táblázat L1-L2 láthatóságának a vizsgálata D1 drónról
(készítette a szerző)

A mérések eredményeinek a kiértékelése:

A mérések folyamán kiderült, hogy az előre eltervezett mérési tartomány szükségtelen, mivel L1 villogó tekintetében durván 500 métert követően, L2 villogót tekintve 800 métert követően már egyáltalán nem voltak láthatók a légi mérés folyamán a drón kamera képén keresztül vizsgált villogók. A távolság, ezáltal a láthatóság tekintetében az L2-es villogó volt nagyobb távolságból észlelhető a kijelzőn.

A mérések eredményeiből az alábbi következtetéseket állapítom meg:

A mérések folyamán a drón távirányítójához csatlakozott telefon kijelzőjén keresztül korlátozódott az a távolság, ahonnan még láthatók voltak a mérés tárgyát képező L1-L2 villogók. Azonban érdekessége volt a mérésnek, hogy néhány mérési pontban szabad szemmel láthatóbbak voltak a villogók a kijelzőn látottakhoz képest.

Továbbá a mérési eredményeket több tényező is befolyásolta, melyek az alábbiak:

- nappali fényviszonyok, láthatóság;
- időjárási körülmények (látótávolság; napos-, borult idő; stb.);
- drón optikai rendszerének műszaki paraméterei (felbontóképesség; videófelbontás; képkocka sebesség stb.)
- emberi szem detektáló képessége;
- a méréshez használt LED-ek teljesítménye, fényerejük irányítottsága;

- egyéb nem ismert tényező.

5.6. M3 – mérés: drónra telepített villogó lámpa (valamint OGN jeladó) láthatóságának légi mérése drónnal (OGN jeladó)

A mérés célja: Az általam legyártásra és összeépítésre került LED villogó lámpák (L1; L2) hatékonyságának légi tesztelése (drón kameráján keresztüli láthatóság) kizárólag nappali időszakban. Továbbá gyári referencia ütközést-elkerülő lámpa láthatóságának ezáltal hatékonyságának az összehasonlítása L1-L2 villogókkal.

Méréshez használt eszközök az 54. ábrán láthatók:



54. ábra M3 mérésekhez használt eszközök
(készítette a szerző)

1. L1 – L2 LED villogó lámpák;
2. D1 – DJI Mavic 3 Enterprise Thermal (a mérést végző drón);
3. D2 – DJI Matrice 210M V2 drón (méréndő drón) fedélzetén a saját, illetve L1-L2 villogókkal;
4. RS-900 OGN vevőállomás;
5. 2db OGN jeladó.

A méréseket Szolnokon az alábbi GPS koordinátával magadott helyen végeztem el:

47°11'51.0"N 20°10'36.1"E

A mérések három részben valósultak meg:

- Mérés_1-2 vertikális mérés: földön, D2 drónra telepített saját D2_gyári és L1-L2 villogók láthatóságának mérése D1 drónnal;
- Mérés_1-2 horizontális mérés: földön, D2 drón saját D2_gyári és telepített L1-L2 villogók láthatóságának mérése D1 drónnal;
- Drón fedélzetére telepített L1_L2 villogók láthatóságának mérése drónnal (D1).

Időjárás jelentés 2025. április 09-én és április 10-én (METAR):

M3_1 mérés - 2025. április 09. Szolnok

LHSN 090745Z 31003KT 260V050 CAVOK 08/00 Q1021 NOSIG RMK BLU, az alábbi időjárási adatokat tartalmazza:

- szél iránya és erőssége: 310°-ból (ÉNY-i) 03 kt (5,55 km/h);
- látótávolság: > 10 km;
- hőmérséklet: 08 °C;
- összegezve: jó látási viszonyok.

M3_2 mérés - 2025. április 10. Szolnok

LHSN 101045Z 09007KT 020V140 CAVOK 09/00 Q1016 NOSIG RMK BLU, az alábbi időjárási adatokat tartalmazza:

- szél iránya és erőssége: 101°-ból (DK-i) 7 kt (12,95 km/h);
- látótávolság: > 10 km;
- hőmérséklet: 9 °C;
- összegezve: jó látási viszonyok.

A mérés menete: Az összehasonlíthatóság érdekében a mérésekbe bevonásra került egy gyári (OEM), a gyártó által egyes dróntípusokba integrált, láthatóságot fokozó, villogó fényjelző is, amely referenciaként szolgált a saját fejlesztésű eszközök értékeléséhez. Ennek lehetőségét a D2-es drón (DJI Matrice 210M V2) D2_gyári villogó lámpája biztosította, mivel ez a típus rendelkezik ilyen célú világító fényforrással a fedélzetén. A mérések alatt a referencia pontot a földre kihelyezett OGN jeladó szolgáltatta. A D2 drón fedélzetére is felhelyezésre került egy OGN jeladó (lásd 55. ábra).



55. ábra M3 mérésnél használt DJI 210M drón, fedélzetén OGN jeladó és L2 LED villogó (készítette a szerző)

A mérések első két fázisában (vertikális és horizontális mérések) a mérést végrehajtó D1 drón magassága Mérés_1 esetén 10 m, Mérés_2 esetén 20 m volt. Ezekben az esetekben a D2 drón a földön volt elhelyezve, fedélzetén az L1-L2-es villogókkal.

A mérések harmadik fázisában a mérendő drón D2 magassága Mérés_1 esetén 10 m, a Mérés_2 esetén 20 m volt. Ugyanekkor a mérést végző D1 drón magassága Mérés_1 esetén 20 m, míg Mérés_2 esetén pedig 30 m volt.

A mérést végző D1 drón mozgása először függőleges irányban (vertikálisan), majd vízszintesen (horizontálisan) a mérőponttól D2 drón fokozatosan távolodva valósultak meg. A villogók láthatóságának a mérése a D1 drón kontrollerébe integrált kijelzőn keresztül valósult meg.

A mérések két alkalommal valósultak meg kizárólag csak nappali időszakban. A villogó fények észlelésének a mértékéhez becslési módszert illesztettem. A láthatóságuk megítéléséhez 1-től 10-ig egy skálázási tartományt rendeltem. A láthatóságuk megítéléséhez 1-től 10-ig egy skálázási és minősítési tartományt rendeltem: Kiváló, Jó, Elfogadható, Gyenge, Elenyésző.

A vertikális és horizontális mérések eredményei az alábbi 18. táblázat, 19. táblázat, valamint a 20. táblázatban kerülnek ismertetésre:

M3	Mérés_1-2 Mérő drón (D1) mozgása függőleges Mérési tartomány: 0 - 120 m					
	Mérés 1 L1	Mérés 1 L2	Mérés 1 D2_gyári	Mérés 2 L1	Mérés 2 L2	Mérés 2 D2_gyári
10 m	Elfogadható	Kiváló	Kiváló	Elfogadható	Kiváló	Kiváló
20 m	Elfogadható	Kiváló	Kiváló	Elfogadható	Kiváló	Kiváló
30 m	Gyenge	Kiváló	Kiváló	Elfogadható	Kiváló	Kiváló
40 m	Gyenge	Kiváló	Kiváló	Gyenge	Kiváló	Kiváló
50 m	Gyenge	Jó	Jó	Gyenge	Kiváló	Jó
60 m		Jó	Elfogadható	Gyenge	Jó	Jó
70 m		Elfogadható	Gyenge		Jó	Elfogadható
80 m		Gyenge	Elenyésző		Elfogadható	Gyenge
90 m		Gyenge	Elenyésző		Gyenge	Gyenge
100 m		Elenyésző			Gyenge	Elenyésző
110 m					Elenyésző	
120 m						

Kiváló	Jó	Elfogadható	Gyenge	Elenyésző
10-9	8-7	6-5	4-3	2-1

18. táblázat Drónra telepített L1-L2, valamint D2(gyári) villogó lámpák mérési eredményei (vertikális mérés) (készítette a szerző)

M3	Mérés 1-2 Mérő drón (D1) mozgása vízszintes Mérési tartomány: 0 - 120 m					
	Mérés 1 L1	Mérés 1 L2	Mérés 1 D2 gyári	Mérés 2 L1	Mérés 2 L2	Mérés 2 D2 gyári
10 m	Kiváló	Kiváló	Kiváló	Jó	Kiváló	Kiváló
20 m	Jó	Kiváló	Kiváló	Elfogadható	Kiváló	Kiváló
30 m	Gyenge	Kiváló	Kiváló	Gyenge	Kiváló	Kiváló
40 m		Kiváló	Jó		Kiváló	Kiváló
50 m		Jó	Elfogadható		Jó	Jó
60 m		Elfogadható	Gyenge		Jó	Elfogadható
70 m		Gyenge	Elenyésző		Elfogadható	Gyenge
80 m		Elenyésző			Gyenge	Gyenge
90 m					Gyenge	Elenyésző
100 m					Elenyésző	
110 m						
120 m						

Kiváló	Jó	Elfogadható	Gyenge	Elenyésző
10-9	8-7	6-5	4-3	2-1

19. táblázat Földre telepített L1-L2, valamint D2(gyári) ütközést-elkerülő villogó lámpák D1 drónnal történő mérésének eredményei (horizontális mérés) (készítette a szerző)

M3	Mérés 1-2 D2 drón földön L1; L2 villogóval D1 mérő drón vízszintesen repül			
	Mérés 1 L1	Mérés 1 L2	Mérés 2 L1	Mérés 2 L2
10 m	Jó	Kiváló	Jó	Kiváló
20 m	Jó	Kiváló	Jó	Kiváló
30 m	Elfogadható	Kiváló	Jó	Kiváló
40 m	Gyenge	Kiváló	Elfogadható	Jó
50 m	Elenyésző	Jó	Gyenge	Jó
60 m		Jó	Elenyésző	Elfogadható
70 m		Elfogadható		Elfogadható
80 m		Gyenge		Gyenge
90 m		Gyenge		Elenyésző
100 m		Elenyésző		
110 m				
120 m				

Kiváló	Jó	Elfogadható	Gyenge	Elenyésző
10-9	8-7	6-5	4-3	2-1

20. táblázat D2 drónra telepített L1-L2 villogók D1 drónnal történő mérésének eredményei (horizontális mérés) (készítette a szerző)

A mérések eredményeinek a kiértékelése:

A vertikális mérési sorozatból számomra értékelhető információ a „Kiváló” és „Jó” minősítéssel rendelkező adatok, amik elfogadhatók. A többi minősítést nem tudom elfogadni mivel, vagy csak nehezen volt észlelhető a kijelzőn a vizsgált villogó lámpa, vagy egyáltalán nem is látszott.

A vertikális mérésnél az L1-es villogó nem szolgáltat meggyőző értékekkel. Az L2 és D2_gyári villogó megközelítőleg ugyanazt a minősítési kategóriát érték el, értem ezalatt, hogy mindkettő hasonló távolságokban volt látható. A legeredményesebb – legtávolabb észlelhető – az az L2 villogó volt, amely 70 méterről is meggyőzően és elfogadhatóan teljesített.

A mérések eredményeiből az alábbi következtetéseket állapítom meg:

A mérések folyamán a drón távirányítóján vagy a hozzá csatlakozott telefon kijelzőjén keresztül akár a gyárilag szerelt, akár az általam készített villogók nem hozták az elvárt értékeket (a földi mérések eredményeihez képest), ezáltal minősítéseket. A szabad szemmel történő észleléshez képest sokkal kisebb távolságokból láthatók úgy a gyári, mint pedig az általam készített ütközést-elkerülő fényforrások „légi megfigyelés” esetén. Ennek talán legfőbb oka az, hogy a drónok fedélzetén elhelyezett kamerák, típusonként és gyártónként is különböznek. Ennek egyik oka, hogy más műszaki paraméterekkel (felbontóképesség, felépítés stb.) bírnak a különböző típusú drónok fedélzeti kamerái, így a távirányítók kijelzőjén történő villogók beazonosítását ez nagymértékben befolyásolja.

A mérési eredményeket több tényező is befolyásolta, melyek az alábbiak:

- nappali fényviszonyok;
- időjárási körülmények (látótávolság; napos-, borult idő stb.);
- drón optikai rendszerének műszaki paraméterei (felbontóképesség; videófelbontás; képkocka sebesség; stb.)
- emberi szem detektáló képessége;
- a méréshez használt LED-ek teljesítménye, fényerejük irányítottsága;
- egyéb nem ismert tényező.

5.7. M4 – mérés: drónra telepített villogó lámpa (valamint OGN jeladó) láthatóságának légi mérése repülőgéppel (OGN jeladó)

A mérés célja: Az általam legyártásra és összeépítésre került LED villogó lámpák (L1; L2) láthatóságának tesztelése pilóta által vezetett légijármű fedélzetéről. A mérés időtartama alatt a repülőgép fedélzetén, a mérés helyszínén, valamint a méréshez használt drón fedélzetén is OGN jeladó volt elhelyezve.

Méréshez használt eszközök az 56. ábrán láthatók:



56. ábra M4 mérésekhez használt eszközök
(készítette a szerző)

1. HA-1256 lajstromszámú SF 25 Falke típusú motoros vitorlázó repülőgép, (fedélzetén OGN jeladó);
2. L1-L2 LED villogó lámpa;
3. D1 – DJI Phantom 3 Professional drón;
4. RS-900 OGN vevőállomás;
5. 3db OGN jeladó (bázis állomáson: Tracker_1; repülőgépen: Tracker_2, drónon: Tracker_3);
6. Informatikai eszközök: laptop, egyéb kiegészítő.

A méréseket Szolnokon az alábbi GPS koordinátával magadott helyen végeztem el:

47°11'51.0"N 20°10'36.1"E

A mérések alapvetően két fő részre oszthatók:

- M4_1 – M4_2 mérés: földre kihelyezett L1-L2 villogó lámpák láthatóságának a vizsgálata a repülőgép fedélzetéről;
- M4_D1 mérés: drónra felrögzített L1 villogó lámpa láthatóságának vizsgálata a repülőgép fedélzetéről;

Időjárás jelentés 2025. április 04-én és április 05-én (METAR):

M4_1 mérés - 2025. április 04. Szolnok

LHSN 041245Z 09006KT 040V150 CAVOK 18/06 Q1018 NOSIG RMK BLU, az alábbi időjárási adatokat tartalmazza:

- szél iránya és erőssége: 90°-ból (keleti) 6 kt (11,1 km/h);
- látótávolság: > 10 km;
- hőmérséklet: 18 °C;
- összegezve: jó látási viszonyok.

M4_2 mérés - 2025. április 05. Szolnok

LHSN 051045Z 27011KT 230V330 CAVOK 20/02 Q1006 NOSIG RMK BLU, az alábbi időjárási adatokat tartalmazza:

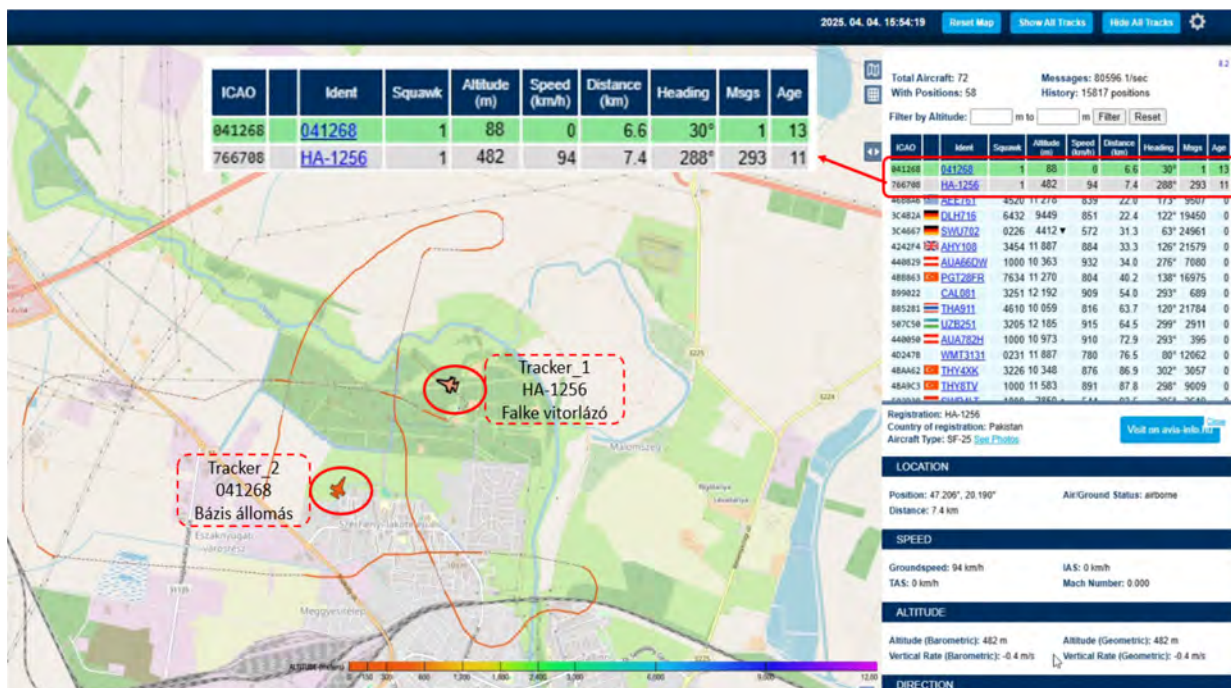
- szél iránya és erőssége: 270°-ból (nyugati) 11 kt (20,35 km/h);
- látótávolság: > 10 km;
- felhőzet: kevés felhőzet 1400 láb (kb. 430 m) magasságban;
- hőmérséklet: 20 °C;
- összegezve: jó látási viszonyok.

A mérés menete: A mérések két alkalommal hajtottam végre a fentiekben megjelölt helyszínen. A mérések folyamán a mérendő drónra (D1) és a repülőgép fedélzetére, valamint a bázis állomáson OGN jeladók voltak elhelyezve. Ez utóbbi referencia adatokat szolgáltatva a mérések ideje alatt.

Ezeknél a méréseknél az értékelési rendszeren, változtattam, miszerint három minősítéssel lehetett a LED villogók láthatóságát osztályozni (Kiváló; Jó; Gyenge). Ennek oka, hogy a légi jármű vezetőnek a repülések folyamán nem mindig adódott lehetősége a villogó lámpa hosszabb ideig történő megfigyelése. Ebből adódóan egzakt információként az előzőekben említett osztályozást tudta alkalmazni a mérések ideje alatt.

Az M4_1 és M4_2 mérések mérési pontjai 1000-3500 ft, 335-981 m magasság tartományban valósultak meg. Ennél a két mérésnél mindkét villogó (L1-L2) láthatósága volt tesztelve kizárólag nappali időszakban. A „légi mérést” végző eszközt egy SF 25 Falke típusú motoros vitorlázó repülőgép és annak személyzete végezte el. A mérési pontokat, valamint a mérésben résztvevő eszközök pillanatnyi helyzetét az OGN jeladók biztosították. A három jeladóból egy a bázis állomáson volt kihelyezve, a másik a drónra volt felszerelve, a harmadik pedig a vitorlázó

repülőgép fedélzetéről szolgáltatva az adatokat. Az OGN jeladókat folyamatosan nyomon lehet követni az alábbi megjelenítő felületen (lásd 57. ábra).



57. ábra Repülési helyszín OGN vevő állomás megjelenítő felületén
(készítette a szerző)

A jeladók (tracker-ek) által szolgáltatott adatok a peTra RS-900 mobil vevőállomáson keresztül webes felületen valósítható jeleníthetők meg, amelyet a Peviktera Consulting Kft. fejlesztett. A korábbiakban említésre került, hogy a vevőállomás nem csak az OGN jeladók által sugárzott adatokat, hanem a FLARM és ADS-B berendezések adatait is képes megjeleníteni, ahogyan az az 57. ábrán is látható. A megjelenítő felületet használva, az összes olyan merev-és forgósárnyas repülőgép, drón, ballon megjeleníthető, amelyeknek a fedélzetén az előbb említett jeladók közül legalább egyik megtalálható. A rendszer alkalmazásával biztonságosabban lehet különböző drón repülési műveleteket végrehajtani.

A mérési eredményeket az alábbi 21. táblázat, 22. táblázat, valamint a 23. táblázat foglalják össze.

M4	M4_1 földön villogó - repülőgép mér Repülőgép mérési tartománya: 1100 - 3500 ft (AMSL)				
Magasság AMSL [ft]	Magasság AMSL [m]	Magasság AGL [m]	Valós távolság [m]	Mérés 1 L1	Mérés 1 L2
1100	335,3	250,3	740	Jó	Kiváló
1250	381,0	296,0	886	Gyenge	Jó
1400	426,7	341,7	934	Gyenge	Jó
2200	670,6	585,6	1154	Gyenge	Gyenge
2500	762,0	677,0	1196	Gyenge	Gyenge
2750	838,2	753,2	1178	Gyenge	Gyenge
3000	914,4	829,4	1329	Gyenge	Gyenge
3300	1005,8	920,8	1418	Gyenge	Gyenge
3500	1066,8	981,8	1511	Gyenge	Gyenge

Kiváló	Jó	Gyenge
--------	----	--------

21. táblázat M4_1 mérés földre telepített villogók levegőből történő mérése
(készítette a szerző)

M4	M4_2 földön villogó - repülőgép mér Repülőgép mérési tartománya: 1200 - 3000 ft (AMSL)				
Magasság AMSL [ft]	Magasság AMSL [m]	Magasság AGL [m]	Valós távolság [m]	Mérés 2 L1	Mérés 2 L2
1200	365,8	280,8	763	Jó	Kiváló
1350	411,5	326,5	910	Gyenge	Kiváló
1400	426,7	341,7	954	Gyenge	Jó
1800	548,6	463,6	1106	Gyenge	Jó
1950	594,4	509,4	1139	Gyenge	Gyenge
2200	670,6	585,6	1182	Gyenge	Gyenge
2400	731,5	646,5	1241	Gyenge	Gyenge
2700	823,0	738,0	1320	Gyenge	Gyenge
3000	914,4	829,4	1446	Gyenge	Gyenge

Kiváló	Jó	Gyenge
--------	----	--------

22. táblázat M4_2 mérés földre telepített villogók levegőből történő mérése
(készítette a szerző)

M4	M4_D1 drónon villogó - repülőgép mér					
	Repülőgép mérési tartománya: 1100 - 2200 ft (AMSL)					
Magasság AMSL [ft]	Magasság AMSL[m]	Magasság AGL [m]	Drón mag. AGL [m]	Valós távolság [m]	Mérés 1 L1	Mérés 2 L1
1100	335,3	250,3	20	317	Kiváló	Jó
1200	365,8	280,8	20	395	Jó	Jó
1300	396,2	311,2	20	411	Jó	Gyenge
1400	426,7	341,7	20	450	Jó	Gyenge
1500	457,2	372,2	20	466	Gyenge	Gyenge
1600	487,7	402,7	20	505	Gyenge	Gyenge
1700	518,2	433,2	20	546	Gyenge	Gyenge
1800	548,6	463,6	20	556	Gyenge	Gyenge
1900	579,1	494,1	20	574	Gyenge	Gyenge
2000	609,6	524,6	20	615	Gyenge	Gyenge
2100	640,1	555,1	20	631	Gyenge	Gyenge
2200	670,6	585,6	20	662	Gyenge	Gyenge

Kiváló	Jó	Gyenge
--------	----	--------

23. táblázat M4_1 mérés földre telepített villogók levegőből történő mérése
(készítette a szerző)

A mérések eredményeinek a kiértékelése:

Az M4_1 és M4_2 mérések folyamán a repülőgépnek az éppen aktuális magassága 250-981 m (AGL⁵⁰) között váltakozott. A rendelkezésre álló adatok kiértékelése folyamán meghatározásra került az ún. „ferde távolság” hossza, amit a táblázatokban valós távolságnak neveztem el. Ennek a szakasznak a hossza az a távolság, ami képzeletben a repülőgépet és földi bázis állomás pontját köti össze. Másképpen fogalmazva a különböző mérési pontokban ebből a valós távolságokból látta vagy nem látta a pilóta az L1-L2 villogókat, akár földre kihelyezve, akár a drónra szerelve.

A vizsgált villogók közül az L1 a fedélzetről alig észrevehetően volt látható mintegy 700 m-re a bázis állomástól. Ezzel szemben a nagyobb teljesítményű L2 villogó hozzávetőlegesen 1000 m-re a bázis állomástól látható volt. A pilóta elmondása szerint, függetlenül a bázis állomás megközelítésének bejövetele irányától az L2 villogó minden szempontból hatékonyabbnak, ezáltal láthatóbbnak bizonyult.

Az M4_D1 mérések folyamán a repülőgépnek az éppen aktuális magassága 250-585 m (AGL szerint) között váltakozott. Itt fontos megjegyezni, hogy a D1 drón fedélzetére csak az L1-es villogót tudtam implementálni, az eszköz technikai korlátjainak köszönhetően (villogók mérete és tömege miatt). A mérések folyamán hozzávetőlegesen 400 méterről látható volt a villogó a

⁵⁰ AGL - Above Ground Level – a föld felszínéhez viszonyított magasság

repülőgép fedélzetéről. Az eddigi eredményeket figyelembe véve vélhetően az L2 villogó hatékonyabbnak, ezáltal láthatóbbnak bizonyult volna, amennyiben a mérést vele is sikerül végrehajtani.

A mérések eredményeiből az alábbi következtetéseket állapítom meg:

Úgy a földi, mint pedig a légi mérésekből származó eredmények azt demonstrálják, hogy a vizsgált L1-L2 villogó jelzőfények különböző távolságokról detektálhatók voltak. Mindazonáltal, a statikus vagy dinamikus célpontok észlelhetőségét nem csupán a villogó fények láthatósága facilitálta. Mind a földi, mind a légi mérésekből származó eredmények azt demonstrálják, hogy a vizsgált L1-L2 villogó jelzőfények különböző távolságokról detektálhatók voltak. Mindazonáltal, a statikus vagy dinamikus célpontok észlelhetőségét nem csupán a villogó fények láthatósága facilitálta.

Az Open Glider Network (OGN) jeladók alkalmazása ugyancsak hatékonynak bizonyult. Segítségükkel nem csupán a drón és a repülőgép pozíciójának monitorozása vált lehetővé a földi állomásról és a repülőgép fedélzetéről, hanem a környező légtér többi felhasználója is vizuálisan detektálhatta jelenlétünket és repülési útvonalunkat. Mindazonáltal, hasonlóan a többi mérési eljáráshoz, ezen mérések eredményeit is számos befolyásoló tényező komplex interakciója alakíthatta, nevezetesen:

- nappali fényviszonyok;
- időjárási körülmények (látótávolság; napos-, borult idő stb.);
- emberi szem detektáló képessége;
- a méréshez használt LED-ek teljesítménye, fényerejük irányítottsága;
- egyéb nem ismert tényező.

M1-M4 mérésekből levont végkövetkeztetések:

A mérések fő célja az volt, hogy megvizsgáljam melyik villogó látható távolabbról, különböző mérési pontoktól. A villogók vagy a földre helyezve, vagy pedig egy drón fedélzetén voltak. A L1-L2 villogók közül a nagyobb teljesítményű L2 villogó bizonyult hatékonyabbnak. Nem csak az L1 villogónál bizonyult láthatóbbnak, hanem sok esetben felülmúlta a DJI Matrice 210M V2 drón gyári villogó teljesítményét is.

Az OGN jeladók egyrészt a méréshez szolgáltatottak referencia adatokat, másrészt demonstrálták, hogy használatukkal a drón mások számára is észlelhetőbbé válhat.

Kijelenthető, hogy az OGN jeladók és az összeütközést gátló LED villogók együttes használata lokális szinten hozzájárult a repülésbiztonság fokozásához. A mérési periódus alatt a pilóta nélküli légi járművek egyrészt vizuálisan is detektálhatóbbak voltak a kísérleti környezetben. Másrészt, az Open Glider Network (OGN) jeladók alkalmazásával a drónok pozíciója valós időben megjeleníthetővé vált különböző webes felületeken, ezáltal explicit módon kommunikálva jelenlétüket a környező légtérben operáló egyéb légi járművek felé.

5.8. Következtetések

A „látni és láthatóvá válni” elvének érvényesülése, amelynek fontosságát és szükségességét a fejezet részletesen tárgyalta, alapvető követelmény a repülésbiztonság szempontjából. A hagyományos, ember vezette légi járművek esetében ezt számos bevált műszaki rendszer (pl. transzponderek, ACAS, FLARM, OGN, nagy intenzitású fények) biztosítja, lehetővé téve mind a légi jármű vizuális és elektronikai észlelhetőségét, mind pedig a környező forgalom detektálását a fedélzetről.

Ezen elv következetes alkalmazása a pilóta nélküli légi járművekre (drónokra) is elengedhetetlen a biztonságos légtérintegrációhoz. Ideális esetben a drónok elektronikus adatainak meg kell jelenniük más légi járművek fedélzeti rendszerein és a légiforgalmi irányító szolgálatok megjelenítőin. Azonban, ahogyan az e fejezetben bemutatott mérési eredmények is alátámasztják, az elektronikai nyomkövető rendszerek mellett a drónok vizuális feltűnőségének növelése optimalizált fénytechnikai megoldásokkal (pl. nagy hatékonyságú villogókkal) szintén hozzájárulhat a kockázatok csökkentéséhez.

Ezen vizuális jelzések potenciálisan csökkenthetik annak valószínűségét, hogy egy drón észrevétlenül kerüljön veszélyes közelségbe más légi járművekkel, így mérsékelve az összeütközés kockázatát.

ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK

Kutatásom és a disszertáció elkészítése során arra törekedtem, hogy tudományosan megalapozott választ adjak arra a problémára, miként biztosítható a pilóta nélküli és a hagyományos légijárművek egyidejű, azonos légtérben, vagy repülőtéren történő biztonságos üzemeltetése. E célkitűzés különös jelentőséggel bír napjainkban, tekintettel a dróntechnológia gyors terjedésére és az ebből fakadó légtérhasználati konfliktusokra.

Az értekezésben statisztikai adatokkal alátámasztva elemeztem a pilóta nélküli légijárművek globálisan tapasztalható elterjedését, valamint bemutattam e rendszerek alapvető felépítését, alkalmazott szerkezeti anyagaikat, továbbá az ebből fakadó technológiai előnyöket és korlátokat. Az elemzés során rámutattam arra is, hogy a drónok üzemeltetése elválaszthatatlan a nemzeti és nemzetközi jogszabályi környezettől, amelyet az értekezés első részében áttekintő jelleggel ismertettem.

Az elemzések során feltártam a drónok tényleges működési környezetét, és rendszereztem azokat az operatív alkalmazási területeket, amelyekben a pilóta nélküli légijárművek napjainkban megjelennek. Ezzel összefüggésben bemutattam az állami és kereskedelmi célú felhasználások egyes kategóriáit, valamint a drónok által elérhető légtérszerkezet főbb jellemzőit. Következtéseim szerint ezen ismeretek elengedhetetlenek a biztonságos és jogszerű alkalmazás megvalósításához.

A kutatás részeként részletesen elemeztem a meteorológiai tényezők hatását a drónok repülésére. Megállapítottam, hogy a környezeti viszonyok – különösen a szél, a csapadék, a látástávolság és a hőmérséklet – jelentős mértékben befolyásolják a pilóta nélküli légijárművek működésbiztonságát, és akár súlyos repülésbiztonsági kockázatot is jelenthetnek.

Kiemelten foglalkoztam a drónok repülésbiztonsági kockázataival egy működő, osztályozott légtérszerkezetben. A vonatkozó irodalom és esettanulmányok feldolgozása során igazoltam, hogy a pilóta nélküli rendszerek potenciális veszélyforrásként értelmezhetők a hagyományos légi közlekedés számára. Ennek alapján javasoltam a klasszikus repülésbiztonsági modellek (pl. Reason-féle védelemelvű modell) kiterjesztését vagy új, a drónspecifikus kockázatokra is reagáló modellek kidolgozását az eseményvizsgálatokhoz.

A drónok magasság szerinti előfordulásának kvantitatív elemzésével meghatároztam azokat a magasságtartományokat, ahol jelenlétük a leggyakoribb, ezáltal kijelölhetők azok a rétegek, ahol megnő az ütközés kockázata a többi légi járművel. Kiegészítésképpen összehasonlító

elemzést végeztem három ország – köztük Magyarország – drónkezelői statisztikáiról, amelyek szintén alátámasztják a drónhasználat intenzitásának növekedését.

A kutatás másik központi elemeként a „látni és láthatóvá válni” elvét vizsgáltam meg a drón-technológiák kontextusában. Feltártam azokat a technikai megoldásokat, amelyek alkalmasak a pilóta nélküli légi járművek detektálására. Kutatási eredményeim alapján javasoltam, hogy – különösen a 2024. január 1. előtt gyártott típusok esetében – a fedélzeti nyomkövetésre alkalmas eszközök (pl. OGN-jeladó) alkalmazása váljon általánossá. Ezen túlmenően kísérletekkel bizonyítottam, hogy a fényjelzésekkel – például navigációs vagy ütközésselkerülő világítással – ellátott UAV-ok vizuális észlelhetősége jelentősen javul, ami növeli a repülésbiztonságot mind az irányító szervezetek, mind más légi járművek személyzete számára.

Összességében a kutatásom eredményei hozzájárulnak a pilóta nélküli légi járművek biztonságos légtér-integrációját támogató műszaki, jogi és repülésbiztonsági ismeretek bővítéséhez, és alapot nyújtanak jövőbeli szabályozási és technológiai fejlesztésekhez.

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Többéves időszakra kiterjedően **elemeztem** a veszélyes megközelítésekkel kapcsolatos eseményeket (incidensek számát és megjelenési magasságát) az Európai Unió, közte hazánk, az Amerikai Egyesült Államok, valamint az Egyesült Királyság vonatkozásában. Az összehasonlító **adatfeldolgozás** alapján **megállapítottam**, hogy a drónok a légtér egy jól körülhatárolható magasságtartományában jelennek meg leggyakrabban. Az elemzés alapján **javaslatot tettem** arra, hogy a dróngyártók szoftveresen korlátozzák a drónok maximális repülési magasságát, amely intézkedés hozzájárulhatna a váratlan légtérbelépések és potenciális ütközési helyzetek számának csökkentéséhez.
2. A kutatás során **megállapítottam**, hogy azok a pilóta nélküli légijárművek, amelyek nem rendelkeznek pozícióadatok továbbítására alkalmas fedélzeti jeladóval, **fokozott kockázatot jelentenek** a légiközlekedés többi szereplője számára. Mivel az ilyen eszközök csak vizuálisan észlelhetők, **vizsgálattal igazoltam**, hogy a kereskedelmi forgalomban elérhető drónok méretükből adódóan más légijármű fedélzetéről szabad szemmel csak korlátozottan észlelhetők. Ez a tényező érdemben rontja a repülésbiztonsági helyzetek felismerhetőségét és kezelhetőségét.
3. A kutatás során **bizonyítottam**, hogy OGN (Open Glider Network) jeladók alkalmazása a drónok fedélzetén **növeli** a pilóta nélküli légijárművek technikai észlelhetőségét más légiközlekedési szereplők számára. Az eredmények megerősítik az elektronikus azonosító eszközök alkalmazásának indokoltságát a közös légtérhasználatban.
4. A kutatás keretében **kifejlesztettem** egy összeütközést gátló LED-alapú fénytechnikai konfigurációt, amelyet drónok fedélzetére lehet telepíteni. Az eszköz láthatóságát és hatékonyságát többszöri **terepi mérés során teszteltem**, az általam **kidolgozott mérési metodika** alapján. A vizsgálatok alapján **megállapítottam**, hogy a rendszer alkalmazásával a drónok **vizuális észlelhetősége számottevően javul**, így azok a légtér más résztvevői számára korábban felismerhetők, ezáltal **csökkenthető** az összeütközések valószínűsége.

A KUTATÁSI EREDMÉNYEK GYAKORLATI FELHASZNÁLHATÓSÁGA

Az értekezésben bemutatott kutatási eredmények több területen is közvetlenül hasznosíthatók, mind az oktatás, mind pedig a dróntechnológia fejlesztésének és alkalmazásának szempontjából:

- 1) Az értekezés egyes fejezetei – különösen a pilóta nélküli légi járművek jogi, műszaki és repülésbiztonsági aspektusait feldolgozó részek – **alkalmazhatók oktatási segédanyagként** a Nemzeti Közszolgálati Egyetem képzéseiben. A tartalom különösen releváns lehet a **Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, valamint a Rendészettudományi Kar hallgatói számára**, akik tanulmányaik során a dróntechnológia biztonsági, szabályozási és operatív vonatkozásaival is foglalkoznak.
- 2) A kutatás során megfogalmazott javaslatok – például a drónok vizuális és technikai észlelhetőségének növelésére, valamint a repülésbiztonsági kockázatok csökkentésére irányuló intézkedések – **gyakorlati útmutatóként szolgálhatnak** a drónfelhasználók számára, különösen a légtérhasználat és a műveleti biztonság területén.
- 3) Az értekezésben kidolgozott műszaki megoldások, így például **az összeütközést elkerülő LED-fénytechnikai rendszer**, valamint az **OGN jeladók alkalmazásának gyakorlati validációja** értékes **fejlesztési irányt** jelenthet a dróngyártó cégek számára. A kutatási eredmények hozzájárulhatnak a gyártott eszközök biztonsági szintjének növeléséhez, és ezáltal a piaci versenyképességük fokozásához.

AJÁNLÁSOK

A kutatás során feltárt tudományos eredmények és gyakorlati megállapítások hasznosíthatósága alapján az alábbi célcsoportok számára javaslom az értekezésben foglaltak megfontolását, illetve beépítését a képzési, oktatási és szakmai tevékenységükbe:

- 1) Különösen ajánlott a pilóta nélküli légi járművek biztonságos alkalmazásával, jogi szabályozásával és műszaki sajátosságaival foglalkozó tantárgyak keretében történő alkalmazás, elsősorban a Nemzeti Közszolgálati Egyetem vonatkozó képzéseiben.
- 2) Az értekezésben ismertetett repülésbiztonsági kockázatok, észlelhetőségi megoldások és műveleti ajánlások beépíthetők a kezelői alapképzések tananyagába, segítve a felelős és szabályos drónhasználat elterjesztését.
- 3) A kutatási eredmények – különösen az észlelhetőség növelésére, a légtérhasználati kockázatokra, valamint a műszaki fejlesztésekre vonatkozó megállapítások – támogathatják a szakmai gyakorlat fejlesztését, a kockázatcsökkentési intézkedések kialakítását és az állomány célirányos képzését.

TOVÁBBI KUTATÁSI IRÁNYOK

Kutatásaimat a *TKP2021-NVA pályázati program* keretében a *TKP2021-NVA-16 számú projekt, Integrált-mintarepülőter (IMA)* kiemelt kutatási terület szenzor (SEN) munkacsoportjában folytatom. A kutatás középpontjában továbbra is a disszertációban bemutatott tématerületek – a pilóta nélküli légijárművek detektálásának lehetőségei, valamint a drónok láthatóságának növelését célzó technikai megoldások – állnak.

Jelenlegi munkám fókuszában a *fedélzeti fénytechnikai összeütközés-elkerülő rendszerek* továbbfejlesztése áll. Ennek keretében célom a *LED-alapú fényjelzők méretének, kialakításának és működési paramétereinek optimalizálása*, különös tekintettel arra, hogy ezek a rendszerek *minél szélesebb dróntípus-kategória esetén* illeszthetők és alkalmazhatók legyenek. A fejlesztés célja olyan *kompakt és hatékony fényjelző megoldás* kialakítása, amely alkalmas a különböző méretű és felépítésű pilóta nélküli légijárművek repülésbiztonsági szintjének növelésére.

A TÉMAKÖRBE KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓIM

LEKTORÁLT, MAGYARORSZÁGON MEGJELENŐ MAGYAR NYELVŰ SZAKMAI FOLYÓIRATCIKKEK

- [S1] Gajdács L., Szűcs V., A 3D nyomtatás lehetőségei a repülőgépiparban, Repüléstudományi Közlemények 32. évfolyam (2020) 2. szám 97–104., DOI: 10.32560/rk.2020.2.7
- [S2] Gajdács L., Palik M., Dudás Z., Drónok és hagyományos légi járművek közös légtérben történő alkalmazásának repülésbiztonsági kockázatai, Repüléstudományi Közlemények 33. évfolyam (2021) 1. szám 157–170., DOI: 10.32560/rk.2021.1.12
- [S3] Gajdács L., Pilóta nélküli légi járművek megjelenési gyakoriságának vizsgálata, Repüléstudományi Közlemények, 34. évfolyam (2022) 1. szám 77–90., DOI: [10.32560/rk.2022.1.5](https://doi.org/10.32560/rk.2022.1.5)
- [S4] Gajdács L., Szűcs V., A 3D-nyomtatás gyártástechnológiai, felhasználási területei, illetve az ebben rejlő potenciál, REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK 32. évfolyam (2020) 1. szám 101–110., DOI: 10.32560/rk.2020.1.7
- [S5] Gajdács L., Pilóta nélküli légi jármű érzékelésének lehetséges megoldásai, Hadmérnök, 17. évfolyam (2022) 4. szám 17–28, DOI: 10.32567/hm.2022.4.2
- [S6] Gajdács L., Major G., Az UAV alkalmazásának kockázatai a biztonságtechnika területén, Repüléstudományi Közlemények, 30. évfolyam (2018) 2. szám 101-112.
- [S7] Békési B., Gajdács L., A pilóta nélküli légi járművek meghajtási rendszerei, Repüléstudományi Közlemények, 35. évfolyam (2023) 2. szám 141-155., DOI: 10.32560/rk.2023.2.16
- [S8] Gajdács L., A drónok vizuális láthatóságának jelentősége, Repüléstudományi Közlemények, 35. évfolyam (2023) 2. szám 157-168., DOI: 10.32560/rk.2023.2.17
- [S9] Gajdács L., „Látni és láthatóvá válni” megoldások drónokhoz, Hadmérnök, 18. évfolyam (2023) 4. szám 5-17., DOI: 10.32567/hm.2023.4.1
- [S10] Békési B., Gajdács L., Drónok meghajtás szerinti lehetséges szerkezeti felépítései, Repüléstudományi Közlemények, 35. évfolyam (2023) 1. szám 257-274., DOI: 10.32560/rk.2023.1.18
- [S11] Békési B., Szilvássy L., Major G., Jámbor K., Gajdács L., Munkadrónok egy modern légikikötő mindennapjaiban, Honvédségi Szemle, (2023) 3. szám 27-41.

LEKTORÁLT, MAGYARORSZÁGON MEGJELENŐ ANGOL NYELVŰ SZAKMAI FOLYÓIRATCIKKEK

László G., The Potential Flight Safety Risks Associated with Unmanned Aerial Vehicles and the Importance of Ensuring their Visibility, Repüléstudományi Közlemények, 36. évfolyam (2024) 1. szám pp 97–108, doi: 10.32560/rk.2024.1.8

LEKTORÁLT, KÜLFÖLDÖN MEGJELENŐ ANGOL NYELVŰ SZAKMAI FOLYÓIRATCIKKEK

Bertold B., László Sz., Gábor M., Krisztián J., László G., Working Drones in a Modern Airport's Daily Life, Kaunas: Leidykla Technologija, pp 836-841 (2022), DOI: 10.5755/e01.2351-7034.2022.P2

A TÉMÁHOZ KAPCSOLÓDÓ, MAGYARORSZÁGON MEGJELENŐ, MAGYAR NYELVŰ KONFERENCIA ELŐADÁSOK

Békési B., Gajdács L.: A pilóta nélküli légi járművek meghajtási rendszerei, Műszaki tudomány az északkelet magyarországi régióban 2023. konferencia előadások kivonatai, Szolnok, 2023., Online: https://tab.mta.hu/files/9016/8664/3550/MTEKMR_2023_absztrakt_kotet.pdf

Gajdács László: Drónok vizuális láthatóságának jelentősége, Műszaki tudomány az északkelet magyarországi régióban 2023. konferencia előadások kivonatai, Szolnok, 2023., Online: https://tab.mta.hu/files/9016/8664/3550/MTEKMR_2023_absztrakt_kotet.pdf

Gajdács László: Pilóta nélküli légijárművek használatának repülésbiztonsági kockázatai, Műszaki tudomány az északkelet magyarországi régióban 2024. konferencia előadások kivonatai, Miskolc, 2024., Online: https://tab.mta.hu/files/5717/1653/5164/mtekmr24_absztrakt_kotet-final.pdf

KÖNYVFEJEZET

Gajdács L., Major G., Katonai célú drónok fejlesztése a jelenkorban, a jövőt vizionálva, Szemelvények a katonai műszaki tudományok eredményeiből III., (2022) pp. 101–120. Online: [https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/static/pdfjs/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/pdfjs/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)

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Drón Koalíció, Magyarország Drón Stratégia 2023-2030, Tervezet, 2023. június, Online: <https://neum.hu/>, (letöltve: 2025.03.15.)
- [2] Diószegi József, Szabályozásra várnak a magyar drónok, Online: https://www.vg.hu/cegvilag/2015/07/szabalyozasra-varnak-a-magyar-dronok?utm_source=chatgpt.com, (letöltve: 2025.03.12.)
- [3] Stepniak, M., Cheimariotis, I., Research and Innovation on Drones in Europe, European Commission, 2024., ISSN 1831-9424
- [4] Ed A., Drone Market Analysis 2022-2030, Drone Industry Insight, 20/09/2022., Online: <https://droneii.com/drone-market-analysis-2022-2030>, (letöltve: 2025.03.15.)
- [5] Strategic Market Research, Global Commercial Drones Market Size, Growth Analysis, Online: <https://www.strategicmarketresearch.com/market-report/commercial-drones-market>, (letöltve: 2025.02.08.)
- [6] Inspired Flight, Top 10 Commercial Uses For Drones, Online: https://www.inspired-flight.com/news/top-10-commercial-uses-for-drones.php?utm_source=chatgpt.com, (letöltve: 2025.03.12.)
- [7] DJI, Drone Rescues Around the World, Online: <https://enterprise.dji.com/drone-rescue-map/>, (letöltve: 2025.03.12.)
- [8] European Commission, Unmanned Aircraft, Online: https://defence-industry-space.ec.europa.eu/eu-aeronautics-industry/unmanned-aircraft_en, (letöltve: 2025.03.12.)
- [9] Palik M., Békési B., Bottyán Zs., Pilóta nélküli repülés profiknak és amatőröknek, Budapest, Nemzeti Közszerológati Egyetem, 2013., ISBN 978-615-5057-64-9
- [10] Kimon P., George J., Handbook of Unmanned Aerial Vehicles, Springer, ISBN 978-90-481-9706-4, Springer Science+Business Media Dordrecht, 2015.
- [11] Richard K., Stephen B., Douglas M., Eric S., INTRODUCTION TO UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS, Taylor & Francis Group, LLC, 2012, International Standard Book Number-13: 978-1-4398-3521-0
- [12] Mohamed A., Anis K., Unmanned Aerial Vehicles Applications: Challenges and Trends, Springer Nature, 2023., ISBN 978-3-031-32036-1
- [13] Bottyán Zs., Palik M., Vas T., A repülésirányítás alapjai, Dialóg Campus Kiadó, Budapest, 2018.

- [14] Szabó S., Tóth R., Repülőterek kialakítása, létesítményeinek kritikus elemei, védelmük lehetséges műszaki megoldásai, Repüléstudományi Közlemények, 25. évfolyam (2013) 2. szám, Online: https://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2013_cikkek/2013-2-07-Szabo_Sandor-Toth_Rudolf.pdf (letöltve: 2024.07.05.)
- [15] Palik M., Rohács J., UAV, UAS, RPA, drón, robotrepülőgép - új technológiák alkalmazása, Haditechnika LVI. évf. 2022/5 szám, DOI: 10.23713/HT.56.5.04, Online: <https://kiadvany.magyarhonvedseg.hu/index.php/HT/issue/view/131> (letöltve: 2024.09.15.)
- [16] Dudás Z., Repülésbiztonsági veszélyek és kockázatok, Repüléstudományi Közlemények, 2003. 1. szám, „100 éves a géprepülés” című konferencia kiadvány
- [17] Dudás Z., Repülésbiztonsági kockázat, repülésbiztonsági felelősség, Repüléstudományi Közlemények, 21. évfolyam 2009. 2. szám
- [18] Dudás Z., A leggyakoribb hibák a légi közlekedésben, Repüléstudományi Közlemények, 32. évfolyam 2020. 3. szám 51-59, DOI: 10.32560/rk.2020.3.4
- [19] Makkay I., Ütközések elkerülése a kisépítés a pilóta nélküli repülésben Repüléstudományi Közlemények, 29. évfolyam 2017. 1. szám
- [20] Makkay I., Másodlagos információforrások a légtérben, Repüléstudományi Közlemények, 31. évfolyam 2019. 1. szám, DOI: 10.32560/rk.2019.1.9
- [21] Sándor Zs., Pilóta nélküli légi járművek látótávolságon belüli és azon túli üzemeltetésének kihívásai, Repüléstudományi Közlemények 35. évfolyam (2023) 3. szám 69–78. • DOI: 10.32560/rk.2023.3.5
- [22] Vass T., Dudás Z., Előzetes megvalósíthatósági tanulmány HORUS VTOL UAS üzembeállítási koncepciója, 2021.
- [23] ICAO Cir 328 AN/190, Unmanned Aircraft Systems (UAS), 2011., ISBN 978-92-9231-751-5
- [24] ICAO, Remotely Piloted Aircraft system (RPAS) Concept of Operations for International IFR Operations, march 2017.
- [25] ICAO, Protection of Civil Aviation Infrastructure Against Unmanned Aircraft, Online: <https://www.icao.int/Security/SFP/Pages/UAS-Intrusion-Protection.aspx>, (letöltve: 2024.10.18.)
- [26] EASA, Annual Safety Review 2024, Online: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/annual-safety-review-2024> (letöltve: 2025.02.16.)
- [27] 38/2021. (II. 2.) Korm. rendelet a pilóta nélküli állami légijárművek repüléséről, Online: <https://njt.hu/jogszabaly/2021-38-20-22> (letöltve: 2024.08.30.)

- [28] U-space szabályozása, Az Európai Bizottság 2021/664 végrehajtási rendelete, Hatályba lépett: 2021. április 22., Online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32021R0664>, (letöltve: 2025.01.04.)
- [29] J. Bullok, An English Expositor: Teaching the Interpretation of the Hardest Words Used in Our Language, 1641., Forrás: Google Books
- [30] N. Webster, A Compendious Dictionary of the English Language, 1806., Online: <https://archive.org/details/compendiousdictionaryoftheenglishlanguage1806>, (letöltve: 2025.01.08.)
- [31] How did drone come to mean both one who does no work and one who spends most of his or her time doing menial work?, Online: <https://english.stackexchange.com/questions/236804/how-did-drone-come-to-mean-both-one-who-does-no-work-and-one-who-spends-mos>, (letöltve: 2025.01.10.)
- [32] Palik M., Doktori PhD értekezés, 2007, Online: <https://tudasportal.uninke.hu/xmlui/handle/20.500.12944/12060?key=pa-lik%20m%C3%A1ty%C3%A1s%20%C3%A9rtekez%C3%A9s>, (letöltve: 2024.05.20.)
- [33] Australian Goernment Civil Aviation Safety Authority, Micro and Exluded Remotely Piloted Aircraft Operations, december 2024., Online: <https://www.casa.gov.au/sites/default/files/2021-08/part-101-micro-excluded-rpa-operations-plain-english-guide-inter-active.pdf>, (letöltve: 2025.03.14.)
- [34] Types of drone the Regulation refers to Answer, FAQ n.116448 <https://www.easa.europa.eu/en/faq/116448>
- [35] What is unmanned aircraft system (UAS)?, Online: <https://www.faa.gov/faq/what-unmanned-aircraft-system-uas> (letöltve: 2024.05.13.)
- [36] Educator Guide, Unmaned Aircraft Sytems, Online: <https://www.nasa.gov/stem-content/unmanned-aircraft-systems-educator-guide/> (letöltve: 2024.05.15.)
- [37] Scholarly Community Encyclopedia, Unmanned Systems, Online: <https://encyclopedia.pub/entry/8019> (letöltve: 2024.05.18.)
- [38] Eulalia B., Pasquale D., Luca De Vito, Francesco L., Sensors and Measurements for Unmanned Systems: An Overview, Online: <https://doi.org/10.3390/s21041518> (letöltve: 2024.05.18.)
- [39] FAA, Advisory Circular, Small Unmanned Aircraft System (sUAS), 06/21/16, Online: https://www.faa.gov/documentlibrary/media/advisory_circular/ac_107-2.pdf, (letöltve: 2025.01.10.)

- [40] Ferenczi I., Automatizálási alapismeretek, Nyíregyházi Egyetem, 2018., ISBN 978-615-5545-82-5
- [41] Sachi N., J.V.R. R., G. Surya N., Chinmaya R., Y. Mohamed S., Drone Technology Future Trends and Practical Applications, Wiley, 2023., USA, ISBN 978-1-394-16653-4
- [42] Which countries have armed drones?, Online: <https://dronewars.net/which-countries-have-armed-drones/>, (letöltve: 2025.02.12.)
- [43] Maj. Osman A., Dr Christian A., A Comprehensive Approach to Countering Unmanned Aircraft Systems, Joint Air Power Competence Centre, Germany
- [44] Kardos K., A hazai drónszabályozás múltja, jelene és jövője, Multidiszciplináris Tudományok, 14. kötet, 4. szám (2024) pp. 96–115., DOI: <https://doi.org/10.35925/j.multi.2024.4.9>
- [45] Kerekes A., A drónozás szabályai, DJI Authorized Retail Store Budapest, 2022., Online: <https://www.djiars.hu/blogs/news/a-dronozas-szabalyai> (letöltve: 2024.06.01.)
- [46] Európai Bizottság 2019/947 végrehajtási rendelete, Európai Unió hivatalos Lapja, 2019.05.24, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0945&from=IT> (letöltve: 2024.10.12.)
- [47] Európai Bizottság 2019/945 felhatalmazáson alapuló rendelete, Európai Unió hivatalos Lapja, 2019., Online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R0945&from=IT>, (letöltve: 2024.10.15.)
- [48] Unmanned Aircraft, European Commision Defence Industry and Space, Online: https://defence-industry-space.ec.europa.eu/eu-aeronautics-industry/unmanned-aircraft_en, (letöltve: 2025.01.06.)
- [49] Alex E., Drónok kézikönyve, ISBN 978-963-278-521-9, CSER kiadó, Budapest, 2017.
- [50] JOUAV, Different Types of Drones and Uses (2025 Full Guide), Online: <https://www.jouav.com/blog/drone-types.html>, (letöltve: 2025.02.12.)
- [51] J. H. Lienhard, The engines of our ingenuity, University of Houston, Online: <https://engines.egr.uh.edu/episode/2297>, (letöltve: 2025.03.07.)
- [52] National Air and Space Museum, Pioneer RQ-2A UAV, Online: https://airandspace.si.edu/collection-objects/pioneer-rq-2a-uav/nasm_A20000794000, (letöltve: 2025.03.07.)
- [53] Shira A., Ankit K. M., High-Performance Materials used for UAV Manufacturing: Classified Review, ISSN: 2455-6211 Volume 10, IJARESM, 2022.

- [54] A. Savini, A short history of 3D printing, a technological revolution just started, IEEE, 2015, DOI: 10.1109/HISTELCON.2015.7307314
- [55] 3D printed drones market, 3D-Printed Drones Companies - Boeing (US) and General Atomics (US) are the Key Players, Online: <https://www.marketsandmarkets.com/ResearchInsight/3d-printed-drone-companies.asp> (letöltve: 2024.06.05.)
- [56] Michal M., UAE Firm 3D Prints Drones with Resin, 3dprint.com, Online: <https://3dprint.com/309832/uae-firm-3d-prints-drones-with-resin/> (letöltve: 2024.06.10.)
- [57] Case Studies, FDM-printed fixed wing UAV, University of Sheffield, Online: <https://www.amrc.co.uk/case-studies/fdm-printed-fixed-wing-uav> (letöltve: 2024.06.10.)
- [58] Taking To The Skies • The Journey of Building a SLS 3D Printed FPV Drone, Sintratec, Online: <https://sintratec.com/the-journey-of-building-a-sls-3d-printed-fpv-drone/> (letöltve: 2024.06.22.)
- [59] Repülőtér rendje, BUD. 2012.09.20., Online: https://www.bud.hu/file/documents/1/1527/05_meghatározások_2012_09_20.pdf (letöltve: 2024.07.05.)
- [60] ICAO, Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation Aerodromes, Volume 1 Eighth Edition, July 2018. Online: https://www.iacm.gov.mz/app/uploads/2018/12/an_14_v1_Aerodromes_8ed._2018_rev.14_01.07.18.pdf, (letöltve: 2025.02.02.)
- [61] The Differences Between Civilian and Military Airports, Hali-Brite, Online: <https://www.halibrite.com/rotating-beacons/differences-between-civilian-and-military-airports/> (letöltve: 2024.07.12.)
- [62] Csutorás Gábor, Doktori (PhD) Értekezés, Katonai repülőterek és repülési feladatok tűzvédelmének aktuális kérdései, különös tekintettel a tűzoltó szervezetek túlélést biztosító (STO) rendszerben való működésére, 2003.
- [63] Key Differences Between Civil and Military Aviation, Hubek Aviation, Online: <https://hubek.com.tr/en/sivil-ve-askeri-havacilik-arasindaki-temel-farklar/>, (letöltve: 2024.10.15.)
- [64] European Defence Agency, The military in the single European sky, Online: <https://eda.europa.eu/docs/default-source/brochures/eda-ses-brochure-2018-final8a46b73fa4d264cfa776ff000087ef0f.pdf>, (letöltve: 2024.10.18.)

- [65] L. Grigore, C. Cristescu, The use of drones in tactical military operations in the integrated and cybernetic battlefield, sciendo, Land Forces Academy Review Vol. XXIX, No. 2(114), 2024.
- [66] Military Drone Market Report, Fortune Business Insights, 19/09/24, Report ID: FBI102181
- [67] Drone Warfare, edam, 2022., Online: <https://edam.org.tr/en/foreign-policy-and-security/drone-warfare-drone-wars-defense-economics-and-turkey-s-way>, (letöltve: 2024.10.18.)
- [68] Európai Repülésbiztonsági Ügynökség, A légi üzemeltetésről [Air Operations – OPS] szóló európai bizottsági rendelet tervezetének VI. melléklete, Online: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library> (letöltve: 2024.07.15.)
- [69] HungaroControl VFR Manual, Légiforgalmi Térkép ICAO 1:500 000, Online: <https://ais.hungarocontrol.hu/vfrmanual>, (letöltve: 2025.02.04.)
- [70] Drónszabályozás, Drónozás Európában – Állami műveletek: a személyvédelemtől a katasztrófa- és határvédelemig, 2021., Online: <https://go2fly.hu/dronozas-europaban-allami-muveletek/> (letöltve: 2024.09.04.)
- [71] Systel, The Future of Warfare: How Drones Are Shaping Combat, 2024., Online: <https://systelusa.com/blog/the-future-of-warfare-how-drones-are-shaping-combat/> (letöltve: 2024.09.15.)
- [72] Garrett C., 5 Ways Drones Can Improve Soldier Safety in Modern Military Operations, ELISTAIR, Online: <https://elistair.com/resources/military-drones/5-ways-drones-can-improve-soldier-safety-in-modern-military-operations/> (letöltve: 2024.08.30.)
- [73] Bottyán Zs., Légkörünk struktúrája, alapfolyamatai repülésmeteorológiai megközelítésben, Katonai Műszaki Doktori Iskola jegyzet
- [74] Bottyán Zs., Légkörünk jelenségei repülésmeteorológiai megközelítésben, Katonai Műszaki Doktori Iskola jegyzet.
- [75] Bartholy J., Mészáros R., Meteorológiai alapismeretek, Eötvös Loránd Tudományegyetem, TÁMOP-4.1.2.A/1-11/1-2011-0073 számú, „E-learning természettudományos tartalomfejlesztés az ELTE TTK-n”, 2013.
- [76] Wantuch F., Krekk P., Szondázási adatokon alapuló szélnyírás főbb sajátosságai a lisztferenc nemzetközi repülőtéren, Repüléstudományi Közlemények 30. évfolyam (2018) 1. szám
- [77] Federal Aviation Administration, A Brief History of the FAA, 2021., Online: https://www.faa.gov/about/history/brief_history, (letöltve: 2025.02.13.)

- [78] Allianz, How aviation safety has improved, 2015., Online: <https://commercial.allianz.com/news-and-insights/expert-risk-articles/how-aviation-safety-has-improved.html>, (letöltve: 2025.02.13.)
- [79] International Civil Aviation Organization, Doc 9859 AN/474 Safety Management Manual (SMM), Third Edition 2013.
- [80] Közlekedési automatika a légiközlekedésben, BME-KSK-KJIT 2013.
- [81] Kockázat fogalma, Online: <https://www.arcanum.com/hu/online-kiadvanyok/Lexikonok-a-magyar-nyelv-ertelmezo-szotara-1BE8B/k-359B8/kockazat-1-379DB/>, (letöltve: 2024.11.25.)
- [82] Veszély fogalma, Online: <https://www.arcanum.com/hu/online-kiadvanyok/Lexikonok-a-magyar-nyelv-ertelmezo-szotara-1BE8B/v-51E41/veszely-538C7/>, (letöltve: 2024.11.18.)
- [83] ICAO Annex 19, International Standards and Recommended Practices, Second Edition, July 2016., Online: https://caainternational.com/wp-content/uploads/2018/05/AN19_2ed-publication.pdf, (letöltve: 2025.02.14.)
- [84] R. Dolbeer, Height Distribution of Birds Recorded by Collisions with Civil Aircraft, ResearchGate, 2009., DOI: 10.2193/0022-541X(2006)70[1345:HDOBRB]2.0.CO;2
- [85] Pokorádi L., Kockázatkezelés a repülésben, Repüléstudományi Közlemények, 11. évfolyam, 1999., 1. szám
- [86] ICAO, Aircraft Accident and Incident Investigation, Annex 13 to the Convention on International Civil Aviation, Eleventh Edition, July 2016.
- [87] Skybrary, ICAO SHELL MOEL, Online: <https://skybrary.aero/articles/icao-shell-model>, (letöltve: 2024.11.18.)
- [88] Civil Aviation Authority, Unmanned Aircraft System Operations in UK Airspace – Guidance CAP 722, Civil Aviation Authority, 2020., Online: <https://www.caa.co.uk/media/uwynsupf/cap722-edition8-p.pdf>, (letöltve: 2025.04.16.)
- [89] R. Müller, A. Wittmer, Aviation Risk and Safety Management, Springer, 2014, ISBN 978-3-319-02780-7 (eBook)
- [90] Air Accidents Investigation Branch - AAIB, Annual Safety Review 2021; 2023, 14/06/2022, Online: https://www.gov.uk/aaib-reports?aircraft_category%5B%5D=unmanned-aircraft-systems (letöltve: 2024.09.15.)
- [91] Innovációs és Technológia Minisztérium, Zárójelentés 2018-706-4 súlyos repülőesemény, 2018. szeptember 19.

- [92] The Guardian, Military called in to help with Gatwick drone crisis, Online: <https://www.theguardian.com/uk-news/2018/dec/19/gatwick-flights-halted-after-drone-sighting>, (letöltve: 2024.12.14.)
- [93] S. Calder, Independent, Gatwick drone disruption cost over £50m, 22/0119/, Online: <https://www.independent.co.uk/travel/news-and-advice/gatwick-drone-airport-cost-easyjet-runway-security-passenger-cancellation-a8739841.html>, (letöltve: 2024.12.14.)
- [94] EASA, Drone Operations in EASA Member States, Online: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/drones-air-mobility/operating-drone/drone-operations-easa-member-states>, (letöltve: 2025.01.02.)
- [95] FAA, Drones by the Numbers, Online: <https://www.faa.gov/node/54496>, (letöltve: 2025.01.02.)
- [96] Protect UK, Threat from Drones in the UK, 8 <https://www.protectuk.police.uk/threat-risk/threat-analysis/threat-drones-uk>, (letöltve: 2025.03.16.)
- [97] HungaroControl, Rekordmennyiségű repülőgépet kezelt a HungaroControl 2024-ben, Online: <https://www.hungarocontrol.hu/sajtoszoba/hirek/rekordmennyisegu-repulo-gep-2024>, (letöltve: 2025.03.10.)
- [98] Budapest Airport, A Budapest Airport 2024-es éve a várakozásokat meghaladó eredményekkel erősíti meg a repülőtér pozitív lendületét, 2025.01.17. Online: https://www.bud.hu/budapest_airport/media/hirek/aktualis_sajtokozlemenyek/a_budapest_airport_2024_es_eve_a_varakozasokat_meghalado_eredmenyekkel_eros-iti_meg_a_repuloter_pozitiv_lenduletet.html, (letöltve: 2025.03.10.)
- [99] Hungarocontrol, Egyre több a szabálysértő drónreptetés, 2019. január 18., Online: <https://www.hungarocontrol.hu/sajtoszoba/hirek/%20Egyre%20t%C3%B6bb%20a%20szab%C3%A1lys%C3%A9rt%C5%91%20dr%C3%B3nreptet%C3%A9s>, (letöltve: 2025.02.04.)
- [100] Federal Aviation Administration, Drone Sightings Near Airports, Online: https://www.faa.gov/uas/resources/public_records/uas_sightings_report, (letöltve: 2025.02.22.)
- [101] Small unmanned air system (SUAS) assessment, UK AIRPROX BOARD, 2024, Online: <https://www.airproxboard.org.uk/topical-issues-and-themes/drones/>, (letöltve: 2024.12.14.)
- [102] DJI Download Center, Online: <https://www.dji.com/hu/downloads>, (letöltve: 2025.03.20.)

- [103] Makkay I., Elektroakusztikai eljárások légijárművek felderítésére, Repüléstudományi Közlemények, 26. évfolyam 2014. 2. szám
- [104] Seller R., Radartechnika alapjai, Nemzeti Közsolgálati Egyetem, KÖFOP-2.1.2-VE-KOP-15-2016-00001 Széchenyi 2020.
- [105] Ferenczy G., Szűcs P., Balog K., Rádiólokáció alapjai, Bolyai János Katonai Műszaki Főiskola, Főiskolai jegyzet, Budapest, 1998.
- [106] International Civil Aviation Organization Asia and Pacific, Guidance Material on Comparison of Surveillance Technologies (GMST), Edition 1.0 – September 2007, Online: https://www.icao.int/APAC/Documents/edocs/cns/gmst_technology.pdf, (letöltve: 2025.02.18.)
- [107] AIRportal, Szakemberek, akik radarjaikkal folyamatosan az eget pásztázzák, 2020.04.25., Online: <https://airportal.hu/szakemberek-akik-radarjaikkal-folyamatosan-az-eget-pasztazzak/>, (letöltve: 2025.02.18.)
- [108] Ryohei Nakamura¹, Kantaro Suzuki, Hisaya Hadama „RCS measurements of various drones at 24 GHz,” IEICE Communications Express, Vol.9, No.7, 262–267
- [109] Open Glider Network, Online: <http://wiki.glidernet.org/>, (letöltve: 2025.02.19.)
- [110] Vránics Dávid, felhő alapú rendszerekből vezérelt pilóta nélküli légijármű-rendszerek biztonsági kérdései, Doktori (PhD) értekezés, 2022.
- [111] EASA, Special Condition for Light Unmanned Aircraft Systems - Medium Risk, 17 December 2020., Online: <https://www.easa.europa.eu/en/special-condition-sc-light-uas-medium-risk>, (letöltve: 2025.02.20.)
- [112] Federal Aviation Administration, Small Unmanned Aircraft Systems (UAS) Regulations (Part 107), 6 October 2020., Online: <https://www.faa.gov/newsroom/small-unmanned-aircraft-systems-uas-regulations-part-107>, (letöltve: 2025.02.20.)
- [113] Whilen Aerospace Technologies, AIRCRAFT LIGHTING REGULATIONS, Online: <https://flywat.com/pages/aircraft-lighting-regulations>, (letöltve: 2025.03.16.)
- [114] National Archives, Code of Federal Regulations, Title 14, § 23.1397 Color specifications, Online: <https://www.ecfr.gov/on/2017-08-29/title-14/chapter-I/subchapter-C/part-23/subpart-F/subject-group-ECFR8a9fb12f11f3198/section-23.1397>, (letöltve: 2025.03.16.)
- [115] National Archives, Code of Federal Regulations, Title 14, § 23.1401 Anticollision light system, Online: <https://www.ecfr.gov/on/2017-08-29/title-14/chapter-I/subchapter-C/part-23/subpart-F/subject-group-ECFR8a9fb12f11f3198/section-23.1401>, (letöltve: 2025.03.16.)

- [116] Takács S., peTra RS-900 mobil ADS/B/FLARM/OGN vevőberendezés műszaki leírása, Peviktera Consulting Kft., 2024.

FÜGGELÉKEK

ÁBRÁK JEGYZÉKE

1. ábra Kereskedelmi drónok elterjedésének várható előrejelzése.....	7
2. ábra Kereskedelmi drónok iránti igények piaci előrejelzése 2022-2030	8
3. ábra Fogalomtérkép	11
4. ábra Pilóta nélküli rendszerek csoportosítása	23
5. ábra Pilóta nélküli légijármű rendszer felépítése	25
6. ábra Pilóta nélküli légijárművek irányítás szerinti csoportosítása	26
7. ábra Autonómia szintjei	27
8. ábra Drónok, drón pilóták és repülések számának előrejelzése	28
9. ábra Pilóta nélküli légijárművek alkalmazásának csoportosítása	29
10. ábra UAV-k szerkezeti kialakítása	37
11. ábra Pioneer RQ-2A UAV	39
12. ábra 3D nyomtatással gyártott drónok piaci előrejelzése	41
13. ábra FDM-SLA-SLS technológiával készült drónok	43
14. ábra Polgári repülőtér általános felépítése	47
15. ábra Európa légierőinek az összetétele	50
16. ábra A magyar légtér szerkezet felépítése.....	53
17. ábra A légkör vertikális felépítése, határreégei	57
18. ábra Jegesedés kialakulásának következményei és annak hatásai	59
19. ábra Repülésbiztonság evolúciója	62
20. ábra Reason modell „svájci sajt modell”	67
21. ábra SHELL modell.....	68
22. ábra Biztonságirányítási rendszer alappillérei.....	72
23. ábra Kockázatértékelési folyamat.....	73
24. ábra ICAO kockázatelemzési mátrix	74
25. ábra Hagyományos-, és pilóta nélküli légijármű összeütközésének scenáriói	77
26. ábra Pilóta nélküli légijárművek baleseteit befolyásoló tényezők	79
27. ábra A súlyos repülőesemény érintettjei	81
28. ábra Helikopter útvonalának megjelenítése a légiforgalmi tájékoztató radarképernyőjén.....	82
29. ábra Drón operátoroknak a száma az EASA tagországokban.....	88
30. ábra LHBP körzetében észlelt dróntevékenységek számadatai	93
31. ábra Európai repülőtereken észlelt drónincidensek számadatainak éves bontása.....	96

32. ábra FAA által közölt adatok éves bontásban	98
33. ábra Egyesült Királyságban a veszélyes megközelítéseknek a száma 2010-2024	101
34. ábra Veszélyes megközelítések magasság szerinti vizsgálata 2018-2024	104
35. ábra Veszélyes megközelítések magasság szerinti vizsgálata 2010-2024	107
36. ábra Légijárművek észlelésének lehetséges információforrásai	111
37. ábra A repülőgépek által keltett zajok forrásai	117
38. ábra Drón által sugárzott rádiójel érzékelésének modellje	118
39. ábra RADAR rendszerek alap elrendezései	121
40. ábra Rádiólokáció lehetséges fajtái, kialakítása	122
41. ábra ATC légtérellenőrzéshez használt radar rendszereinek osztályozása	123
42. ábra OGN rendszer általános felépítése	127
43. ábra OGN rendszer réteg struktúrája	128
44. ábra Repülőgépek fénytechnikai rendszerei	135
45. ábra Repülőgépek helyzetjelző-és villogó fényeinek szögtartománybéli lefedettsége	135
46. ábra Drónok fedélzeti világításainak funkció szerinti csoportosítása	137
47. ábra Drónok „navigációs jellegű” fénytechnika rendszere	138
48. ábra RS-900 OGN mobil vevőállomás	141
49. ábra L1-L2 LED villogók	143
50. ábra L1-L2 LED-es villogók vezérlő áramkör kapcsolási rajza	145
51. ábra M1 mérésekhez használt eszközök	147
52. ábra M1 mérés helyszíne a mérési tartományok megjelölésével	148
53. ábra M2 mérésekhez használt eszközök	151
54. ábra M3 mérésekhez használt eszközök	154
55. ábra M3 mérésnél használt DJI 210M drón, fedélzetén OGN jeladó és L2 LED villogó	156
56. ábra M4 mérésekhez használt eszközök	160
57. ábra Repülési helyszín OGN vevő állomás megjelenítő felületén	162

TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. táblázat „MALE” pilóta nélküli légijármű rendszerekkel rendelkező országok.....	31
2. táblázat UAS NATO szerinti osztályozása	31
3. táblázat Pilóta nélküli légijárművek osztályozása.....	34
4. táblázat Pilóta nélküli állami légijárművekre vonatkozó jogszabályi követelmény	35
5. táblázat Drónok kialakítás szerinti kategorizálása	38
6. táblázat Pilóta nélküli légijárművek vázszerkezetének alapanyagai	40
7. táblázat 3D nyomtatás PLA és ABS alapanyagai és azok jellemzői.....	42
8. táblázat A SHELL modell alkalmazása a pilóta nélküli repülésben	70
9. táblázat Magyarországon regisztrált UAS eszközök és üzemeltetőknél a száma	87
10. táblázat DJI drónok magasság és hatótávolság adatai	106
11. táblázat FAA és UK esetszámok magasság adatainak az összevetése	110
12. táblázat Elsődleges, és másodlagos légtérellenőrző radar rendszerek jellemzői.....	124
13. táblázat Drónok éjszakai műveleteire vonatkozó hazai-és nemzetközi jogszabályok.....	133
14. táblázat COB LED-ek műszaki paraméterei	144
15. táblázat Mérésekhez használt becslési módszer jellemzői.....	149
16. táblázat M1 nappali-éjszakai LED villogó lámpák mérési eredményei	150
17. táblázat L1-L2 láthatóságának a vizsgálata D1 drónról.....	153
18. táblázat Drónra telepített L1-L2 valamint D2(gyári) villogó lámpák mérési eredményei (vertikális mérés).....	157
19. táblázat Földre telepített L1-L2 valamint D2(gyári) ütközést-elkerülő villogó lámpák D1 drónnal történő mérésének eredményei (horizontális mérés)	158
20. táblázat D2 drónra telepített L1-L2 villogók D1 drónnal történő mérésének eredményei (horizontális mérés).....	158
21. táblázat M4_1 mérés földre telepített villogók levegőből történő mérése.....	163
22. táblázat M4_2 mérés földre telepített villogók levegőből történő mérése.....	163
23. táblázat M4_1 mérés földre telepített villogók levegőből történő mérése.....	164

DEFINÍCIÓK JEGYZÉKE

Drón incidens: olyan légiközlekedési esemény, amikor egy drón tiltott területen észlelhető így kiemelt kockázatot jelent az észlelés helyének a közvetlen vagy közvetett környezetére.

Drón repülőesemény: olyan légiközlekedési esemény, aminek folyamán egy pilóta nélküli légi jármű veszélyes közelségbe kerül, vagy akár ütközik egy hagyományos, ember által vezetett repülőgéppel, vagy másik drónnal.

Legális drónfelhasználó: olyan személy, aki a pilóta nélküli légi járművet (UA) az aktuálisan érvényben lévő szabályozások teljes körű betartásával üzemelteti.

Illegális drónfelhasználó: olyan személy, aki a pilóta nélküli légi járművet (UA) az aktuálisan hatályban lévő szabályozások megsértésével üzemelteti. Az illegális drónfelhasználók tevékenységei potenciálisan veszélyt jelenthetnek a repülésbiztonságra, valamint a köz- és magántulajdon biztonságra.

Légi járművek összeütközése: A levegőben történő ütközés (Mid-Air Collision – MAC) olyan baleset, amikor két repülőgép repülés közben érintkezik egymással.

RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

Mozaikszó	Angol elnevezés	Magyar fordítás
ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene	Akrilnitril-butadién-sztirol
ACAS	Airborne Collision Avoidance System	Légi ütközést elkerülő rendszer
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance-Broadcast	Légijármű helyzetét automatikusan lesugárzó rendszer
AMSL	Above Mean Sea Level	Átlagos tengerszint feletti magasság
APRS	Automatic Packet Reporting System	Digitális kommunikációs protokoll
ATC	Air Traffic Control	Légiforgalmi irányító központ
ATS	Air Traffic Service	Légiforgalmi szolgálat
BVLOS	Beyond Visual Line of Sight	Látóhatáron kívül
CAA	Civil Aeronautics Authority	Polgári repülési hatóság
CFR	Code of Federal Regulations	Szövetségi szabályozási kódex
CTA	Control Area	Ellenőrzött terület
CTOL	Collision with obstacle during takeoff and landing	Összeütközés fel-és leszállás közötti időtartamban
CTR	Control Traffic Region	Irányító körzet
DAA	Detect and Avoid	Észlelni és elkerülni
EASA	European Union Aviation Safety Agency	Európai repülésbiztonsági ügynökség
EDA	European Defence Agency	Európai védelmi ügynökség
EPAS	European Plan for Aviation Safety	Európai repülésbiztonsági terv
FAA	Federal Aviation Administration	Szövetségi légügyi hivatal
FDM	Fused Deposition Modelling	Additív gyártástechnológia
FLARM	Flight Alarm	Összeütközésre figyelmeztető rendszer
HALE	High Altitude Long Endurance	Nagy magasság nagy hatótávolság
HTOL	Horizontal Take-Off and Landing	Vízszintes fel- és leszállás

ICAO	International Civil Aviation Organization	Nemzetközi polgári repülési szervezet
IMU	Inertial Measure Unit	Inerciális mérőegység
LOA	Level of Autonomy	Autonómia szintjei
LOC-I	Loss of control in flight	Írányítás elvesztése a légijármű felett
MALE	Medium Altitude Long Endurance	Közepes magasság nagy hatótávolság
MATIAS	Magyar Automated and Integrated Air Traffic Control System	Magyar automatizált és integrált légiforgalmi irányító rendszer
MCTR	Military Control Traffic Region	Katonai irányító körzet
MTMA	Military Terminal Control Area	Katonai közel körzeti irányítói körzet
MTOM	Maximal Take-Off Mass	Maximális felszálló tömeg
NATO	North Atlantic Treaty Organization	Észak-atlanti szerződés szervezete
OFR	Office of the Federal Register	Szövetségi nyilvántartási hivatal
OGN	Open Glider Network	Egységes nyomkövetési platform
PLA	Polylactic Acid	Poliaktív sav
PSR	Primary Surveillance Radar	Elsődleges légtérellenőrző radar
RADAR	Radio Detection and Ranging	Rádióérzékelés és távolság- meghatározás
RCS	Radar Cross Section	Radar keresztmetszet
RPA	Remotely Aircraft System	Távolról irányított légi jármű
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System	Távolról irányított légi rendszer
RPV	Remotely Piloted Vehicle	Távolról irányított jármű
RTH	Return To Home	Automatikus visszatérítő rendszer
SAA	Sense and Avoid	Észlelni és elkerülni
SCF-NP	System or component failure (non powerplant)	Rendszer, vagy rendszer komponenteinek a meghibásodása
SCF-PP	System or component failure (powerplant)	Hajtómű rendszer vagy annak komponens meghibásodása

SESAR	Single European Sky ATM Research	Egységes európai égbolt atm kutatási projekt
SHELL	Software Hardware Environment Liveware	Szoftver hardver környezet humán
SLA	Stereolithography	Sztereolitográfia
SLS	Selective Laser Sintering	Szelektív lézeres szinterezés
SMS	Safety Management System	Repülésbiztonsági irányítási rendszer
SSR	Secondary Surveillance Radar	Másodlagos légtérellenőrző radar
TMA	Terminal Control Area	Közel körzeti irányítói körzet
TWR	Tower	Repülőtéri irányító torony
UA	Unmanned Aircraft	Pilóta nélküli légi jármű
UAS	Unmanned Aircraft System	Pilóta nélküli légi jármű rendszer
UAV	<u>Unmanned</u> Aerial Vehicle	Pilóta nélküli légi jármű
UGV	Unmanned Ground Vehicle	Személyzet nélküli földi jármű
UKAB	United Kingdom Airprox Board	Egyesült királyság airprox testülete
U-LINK UAS	- loss of data link of UA	Pilóta nélküli légi jármű adatkapcsolat elvesztés
U-space	U-tér	Drónforgalom irányítására fejlesztendő európai rendszer
USV	Unmanned Surface Vehicle	Személyzet nélküli vízfelszíni jármű
UTM	Unmanned Aircraft System Traffic Management	Pilóta nélküli légi jármű forgalomirányítási rendszer
UUV	Unmanned Underwater Vehicle	Személyzet nélküli vízalatti jármű
VLOS	Visual Line of Sight	Látóhatáron belül
VTOL	Vertical Take-Off and Landing	Függőleges fel- és leszállás
WING	Wing Operation Center	Katonai szervezet vezetési pontja