

Balajti István, Turai András

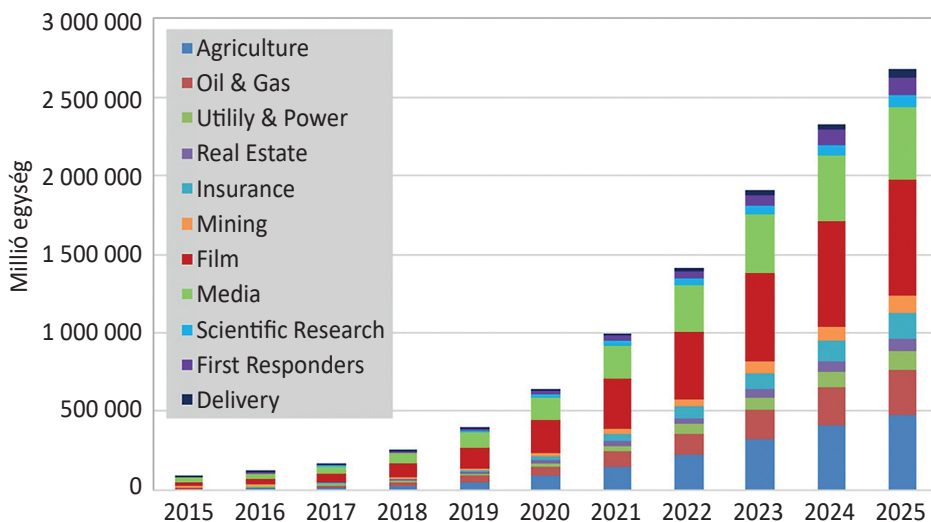
## Kiemelten fontos objektumok drón általi légi megfigyelések elleni védelmi képességeinek performanciavizsgálata

*A drónokkal történő illetéktelen megfigyelések elleni védelem a jelen és közeljövő feladata. Megoldása nagymértékben függ az illetéktelen információszerzéssel kapcsolatos adatok felhasználásának veszélyességétől. Ezek értékelésével eldönthető, hogy az objektum őrségének feladatait, az egyszerű vizuális légtér megfigyelésen túl, célszerű kiegészíteni komplex dróntevékenység-érzékelő rendszerekkel. Mivel a veszély valós, és az illetéktelen drón megfigyeléseket jogilag értékelhető módon dokumentálni szükséges, ezért elvárás a védendő terület dróntevékenység-érzékelő képességének szakszerű performanciavizsgálata. Gyakorlatilag minden védendő objektum eltérő környezeti jellemzőkkel, attribútumokkal rendelkezik, és a megfigyelésre alkalmazható drónok száma, alkalmazásának módjai jelentősen eltérnek egymástól. Ezért a vizsgálatokkal szembeni legfontosabb elvárás a védelmi képességek lehetőség szerint mindenre kiterjedő, megbízható, idő- és költséghatékony tesztljárások alkalmazása. Elvárás, hogy a performanciatesztek a védendő objektum, védelmi rendszer elemeinek elhelyezkedése és minősége paramétereinek ismerete nélkül is, objektíven kiértékelhető adatokat szolgáltatassanak.*

**Kulcsszavak:** *performanciateszt, drónok, légi megfigyelések, kiemelten fontos objektumok*

### 1. Motiváció

Polgári és speciális célú drónok robbanásszerű terjedése figyelhető meg környezetünkben. Szinte naponta jelennek meg hírek az új alkalmazásokkal kapcsolatban (lásd 1. ábra) [1]. Magyarországon a legális „drónozás” folyamata részletesen megismerhető a [2] hivatkozás tanulmányozásával. Ugyanakkor jogosan merül fel az igény a jogszabályokat és egyéb elvárásokat nem, vagy csak részben betartó alkalmazások felügyeletére, illetve a kiemelten fontos objektumok drón légi megfigyelések elleni védelmének értékelésére. Ezért fontos, hogy a Parlament, a minisztériumok, a repülőterek, olajfeldolgozók, atomerőművek és egyéb kiemelten kezelt létesítmények drónokkal történt jogosulatlan megközelítése, a légtérüket ellenőrző rendszerek performanciavizsgálataival hitelesíthető legyen.



1. ábra  
Dróneladások előrejelzése alkalmazási területek szerint [1]

A szerzők több mint 45 éve foglalkoznak a legmodernebb rádiólokátor és egyéb érzékelők légvédelembe való integrálásával, K + F + I feladatok és projektek kockázatfelmérésével, vezetésével, valamint az elmúlt 20 évben, a szenzorok *in situ* performanciavizsgálatainak kidolgozásával és végrehajtásával. Ez a műszaki és tudományos háttér és érdeklődési kör inspirálta a tanulmány kidolgozását.

## 2. A drón általi megközelítés veszélyeinek rendszerezése

A témakör magában foglal gyakorlatilag minden olyan tevékenységet, amely megszegi a jogszerű légtérhasználat előírásait [3]. Ezek közül a tanulmány kiemelten kezelendő veszélyforrásnak tartja:

- egy objektumról és környezetéről történő jogosulatlan információ gyűjtését;
- repülőterek biztonságos üzemeltetésének megzavarását, illetve veszélyeztetését;
- a drónok alkalmazásával kapcsolatban előidézett veszélyhelyzeteket, illetve baleseteket;
- drónok alkalmazását szándékos károkozásra.

### 2.1. Drónok alkalmazásprofil szerinti osztályozása

A legelterjedtebb drónokat méretük, terhelhetőségük és megfigyelésre alkalmasságuk szerint a tanulmány három csoportba sorolja. Ezek a *nagyon kicsi*, 250 g alattiak, például DJI Mavic, (lásd 2. ábra), a *közepes*, hasznos terheléssel 9 kg tömeg alattiak, például a 3. ábrán

az AGRAS T20, és a *nagy teherbírású* drónok, lásd például a 4. ábrán a HERMES 900 katonai drónt, amelyek 10 kg-nál nagyobb terhet képesek szállítani.



2. ábra  
*Hobbidrónok: DJI Mavic (249 g) [a szerző saját fotója]*



3. ábra  
*Drónok a mezőgazdaságban (AGRAS T20) [14]*



4. ábra  
Katonai drónok (például HERMES 900) [13]

## 2.2. Drón általi megközelítések veszélyeinek alkalmazásprofil szerinti távolsági zónái

Elemelve a különböző méretű drónok gyorsulás- és mozgásparamétereit, valamint a légtérhasználat lehetőségeit, gyakoriságát, felmérhető az általuk okozható kockázat. Ezért a kiemelten kezelendő objektumok körül kijelölhetők olyan távolsági határok, szektorok, amelyeken belül a drónok megjelenése és tevékenysége egyre nagyobb kockázatot jelent.

A szerzők *kis kockázattal rendelkező területként jelölik* az objektumtól 10 km-nél nagyobb távolságban található drónokat. *Közepes veszélyforrást* jelentenek a 10 km-n belül, de 3 km-nél távolabb tevékenykedő drónok. *Magas veszélyforrást jelentenek a 3 km-n belül* tevékenykedő drónok, amelyek mozgásáról pontos és megbízható információval kell rendelkezni a védendő objektumban.

## 3. A védelmi rendszer performanciavizsgálatának elvárásai

A repülőterek drónok elleni védelmével kapcsolatos USA-specifikus elvárásait megfogalmazták a szakirodalomban és ennek háttéranyagaiban [4]. További problematikus drónhasználattal kapcsolatos eseményeket dolgoz fel az idézett irodalom [5]. A jelen tanulmány ezektől részben eltérő elvárásokat keres, mivel a védendő objektum(ok) körét kiterjeszti a sűrűn lakott körzetek légtéreibre, és elvárás a tesztrepülések számának költséghatékony minimalizálása. Az *in situ* mérések során szerzett tapasztalatok és az előzetesen felvázolt műszaki megoldásokból levonható következtetések alapján megfogalmazható egy a gyakorlatban megvalósítható elvárásrendszer:

- a *nagy méretű drónok*, 10 km távolságon túli közeledéséről, a védendő objektum rendszere rendelkezzen megbízható információval (saját radar[ok]tól vagy központi légtérellelőrzéstől);
- 10 km-n belül a védelmi rendszer szolgáltatson minőségi paramétereket (céltárgy-detektálás, vakláрма, drónazonosítási valószínűségek), és adjon átfogó képet *közepes méretű* drónokra vonatkozó detektálási, útvonalkövetési és azonosítási képességekről;
- 3 km-n belül a védelmi rendszer szolgáltatson minőségi paramétereket és nyújtson átfogó képet *közepes és kis méretű drónokra* vonatkozó detektálási, útvonalkövetési és azonosítási képességekről;
- a feladat végrehajtásához, a *tesztrendszer alkalmazói eljárásainak kidolgozásához*, ne legyen szükség a védendő objektum védelmi eszközeinek elhelyezkedésére és minőségére vonatkozó információk átadására (ha az információk bizalmas minősítéssel rendelkeznek);
- a *performanciaméréseket kis és közepes méretű drónok* tesztrepüléseivel hajtják végre, amely repülések GPS-pontosságú adatait adják át az eredmények kiértékelését végző kezelő állomány számára;
- a tesztrepülések minimális időigénnyel történjenek, a védendő objektum minél nagyobb légtérzegmensének performanciavizsgálatát tegyék lehetővé.

#### 4. A drónmegközelítést érzékelő rendszerek értékelése

A drónok detektálására, útvonaluk követésére, azonosítására és semlegesítésére használt leggyakoribb eszközök a légtérellelőrzésben bevált „klasszikus” elvárásokat követik. Ezek, a megvalósítás költséghatékonyságát is figyelembe véve: a behatolás észlelése, a behatolás helyének és mozgásparamétereinek behatárolása, a behatoló drón típusának, külső méreteinek és fedélzeti eszközeinek azonosítása, majd a veszélyhelyzet elhárítása. Az egyes alrendszerek műszaki elvárásai a gyakorlatban bevált AARTOS-rendszer esetén az alábbiak [6]:

- *mikrohullámújel-detektor* (más értelmezésben: rádiófelderítés), amely a drón és kezelője közötti mikrohullámú kapcsolat paramétereit méri, és automatikusan képes megkülönböztetni azt más RF-jelforrásoktól. Hatótávolsága 14 km, de kiterjeszthető 50 km-ig (lásd 5. ábra);
- *rádiólokátor*, amely 8 km-n belül automatikusan, 3D koordináták szerint detektálja, útvonalba fogja és osztályozza a körzetében tartózkodó drónokat;
- *integrált optikai és hőkamera*, amely az optikai rálátás határain belül automatikusan követi és részletes információt szolgáltat a drónok alakjáról, mozgásáról és terhelésükről;
- *anti-drón zavaró*, amely 8 km-n belül maximum 800 W kimenő teljesítménnyel zavarhatja a 6 GHz alatti drónkommunikációt és a vezérlését segítő GPS-jeleket;
- *nagy hatótávolságú sziréna* a védendő objektum személyzetének figyelmeztetésére.

Drónelhárításra használt más ismert rendszerek műszaki paramétereit, alkalmazásuk lehetőségeit és a drónokkal kapcsolatos veszélyhelyzeteket elemzi a [5] tanulmány.



5. ábra

Az AARTOS-rendszer drónok elleni védelmi alrendszerei [6]

#### 4.1. A drónok elleni védelmi alrendszerek performanciaelemzése

A drónok alkalmazásprofil szerinti lehetőségeiből, a védendő objektum területére telepíthető legerterjedtebb védelmi eszközök képességeinek elemzésével meghatározhatók a rendszer performanciateszteléséhez szükséges elvárások. A legfontosabb paraméterek az alábbiak:

A rádióhorizont az optikai látóhatárral (*line of sight*, LOS) egybeeső képzelt határgörbe. Kiemelt jelentősége van a rádiólokátor-technikában, hiszen a sikeres drónfelderítés, útvonalképzés, ellentevékenység érdekében a védendő objektum és a drón között egyenes rálátásnak kell lennie. A rádióhorizont a föld görbületének (Föld valós rádiuszának 4/3-szorosa), a különböző vivőfrekvencia-tartományok terjedési sajátosságaitól eltekintve (értéke kisebb, mint 0,1%) meghatározható [7]:

Optikai látóhatár:

$$D_{km} \approx 3,57(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad (1)$$

Rádióhorizont:

$$D_{km} \approx 4,12(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad (2)$$

ahol:  $h_1$  – az antenna elektromágneses középpontjának földfelszín feletti magassága [m],  
 $h_2$  – a drón (mint céltárgy) földfelszín feletti repülési magassága [m].

A földfelszín felett ( $h_2$ ) = 300 m magasságon repülő drón, a ( $h_1$ ) = 5 m magasra telepített radar antennával 80,6 km távolságból detektálható, míg az egyenes rálátás „csak” 69,8 km.

Az 1. táblázat összefoglalja a kis magasságú drónfenyegetettségek radarhorizont- és optikai látóhatár értékeit, ha a szenzor 5 m magasan helyezkedik el.

1. táblázat  
Kis magasságban repülő drónok detektálhatóságának elméleti lehetőségei [a szerzők számítása]

Drón repülési magassága [m]	Radarhorizont [km]	Egyenes rálátás (LOS) [km]
50	38,36	33,22
100	50,43	43,68
150	59,70	51,70
200	67,51	58,46
250	74,39	64,42
300	80,61	69,81

## 4.2. A drónok elleni védelemben alkalmazható rádiólokátorok performanciája

A drónmegközelítés időjárástól és napszaktól független érzékelésére a leghatékonyabb rendszerek az aktív fázisvezérelt antennarács (AESA-) antennát alkalmazó rádiólokátorok. Ilyen típusú rádiólokátor-antennákat alkalmaznak az AARTOS-rendszerben és 2020 decemberében, a Magyar Honvédség számára megvásárolt, a 11. ábrán látható „S” sávú ELM-2084 rádiólokátorban. A rádiólokátorok drón-detektálási lehetőségeit alapvetően meghatározza az *antennanyereség*, az *antennanyaláb irányítottasága* mint térbeli szűrő és a nyaláb(-ok) mozgathatóságának gyorsasága, az *alkalmazott adójel-teljesítmény* és a *drón hatásos radarkeresztmetszete* (RCS). A számítások egyszerűsítése céljából a rádiólokátor-egyenletben szereplő további tényezőket, fizikai lehetőségeket – például a jelfeldolgozás minőségét meghatározó detekciós és vaklárma-valószínűségeket – a doppler- és mikrodoppler-jellemzőket, *konstansnak* tekintjük. A rádiólokátorok antennaelméletéből ismert, hogy az *antennanyereség* közelítő értéke meghatározható:

$$G \cong \frac{4\pi A_p}{\lambda^2} \quad (3)$$

ahol:  $G$  – az antenna nyeresége,  
 $\lambda$  – a rádiólokátor üzemi hullámhossza,  
 $A_p$  – az antenna geometriai felülete, amely magában foglalja az apertúra hatásfokát ( $\mu$ ).

Nagy hatótávolságú radarok esetén elterjedten alkalmazzák az „L” és az „S” frekvenciasávot, míg a hézagkitöltő radarok számára a magasabb frekvenciasávok („C”, „X”) alkalmazása is elterjedt. A különböző frekvenciasávok alkalmazástechnikai előnyeinek megértéséhez hasonlítsuk össze azok megvalósíthatóságának műszaki elvárásait. Az „S” sávú nagy hatótávolságú radaroknál szokásos maximális antennaméretet (szélessége  $\times$  magassága  $6 \times 4,4$  m) és *70% apertúra-hatásfokot* feltételezve az antennanyereségek az „L”, „S” és „X” sávra (lásd 2. táblázat). Figyeljük meg, hogy adott antennaméretnek esetén a *hullámhossz csökkenésével jelentősen nő az antennanyereség*.

2. táblázat

Különböző típusú rádiólokátorokhoz és antennaméretekhez tartozó antennanyereség [a szerzők számítása]

Antennaméret: szélesség × magasság	„L” sáv ( $\lambda = 0,23$ m)	„S” sáv ( $\lambda = 0,10$ m)	„X” sáv ( $\lambda = 0,03$ m)
6 × 4,4 [m]	36,4 dB	43,6 dB	54,1 dB
2 × 1,2 [m]	26,0 dB	33,2 dB	43,7 dB
0,7 × 0,5 [m]	17,6 dB	24,8 dB	35,3 dB

Az antennanyereség és az irányélességi szög között (kis szögek esetében) az alábbi (ablakfüggvényekkel nem módosított, ezért „elméleti”) megközelítés alkalmazható:

$$G \cong \frac{4\pi\mu}{\theta_{az} \cdot \theta_{el}} \quad (4)$$

ahol:  $\mu$  – az antenna sugárzási hatásfoka (például 70%),  
 $\theta_{az}$  – az antenna vízszintes irányélességi szöge,  
 $\theta_{el}$  – az antenna függőleges irányélességi szöge.

A 2. táblázat paramétereinek alkalmazásával az „L”, „S” és „X” sávú radar irányélességi szögei radiánból fokba átszámítva a 3. táblázatban láthatók. Gyakorlatilag az antennanyaláb tér-  
 lapogatásának módszere, gyakorisága és az elvárt impulzusintegrálási szám határozzák meg a drón detektálásához optimális irányélességi szögeket. A 2. és 3. táblázatokból megfigyelhető, hogy nagy hatótávolságú rádiólokátorok alkalmazásához nagy antennaméretek szükségesek az elvárt antennanyereség és a pontos drónhelyzet meghatározásához szükséges kis irányélességi szögek eléréséhez. Ugyanakkor ez a feladat az „X” frekvenciasávban jelentősen kisebb antennaméretekkel is megoldható.

3. táblázat

Különböző rádiólokátor-típusok irányélességi szögei [a szerzők számítása]

Antennaméret szélesség × magasság	„L” sáv ( $\lambda = 0,23$ m)		„S” sáv ( $\lambda = 0,10$ m)		„X” sáv ( $\lambda = 0,03$ m)	
	$\theta_{az}$	$\theta_{el}$	$\theta_{az}$	$\theta_{el}$	$\theta_{az}$	$\theta_{el}$
6 × 4,4 [m]	2,2	3	1	1,3	0,3	0,4
2 × 1,2 [m]	6,6	11	2,8	4,7	0,8	1,4
0,7 × 0,5 [m]	18,8	26	8,2	11,5	2,5	3,4

A 4. táblázat, a rádiólokáció egyenletére épülő, úgynevezett Blake Chart-számítások alapján értékeli a különböző méretű drónok behatolás elleni védelmi rendszerének performanciavizsgálatához szükséges „S” és „X” sávú rádiólokátor-alrendszerek szerzők által legfontosabbnak tartott főbb elvárásait. A táblázat a különböző típusú drónok maximális detektálási távolságát különböző,  $P_t = 300$  kW, 1 kW és 10 W adóteljesítmények eseteire adja meg. Az „S” sávú rádiólokátor antennanyeresége, a 2. táblázat szerint,  $G_{ad\acute{o}} = G_{vev\acute{o}} = 43,6$  dB, míg az „X” sávú  $G_{ad\acute{o}} = G_{vev\acute{o}} = 35,2$  dB. A rádiólokátorok többi alrendszere rendelkezzen azonos céltárgydetekciós minőségi jellemzőkkel (detekciós és vaklármaválósínúségek:  $P_d$ ,  $P_{vl}$ ) és adott céltárgydetektálási veszteségekkel. Például legyen a rádiólokátorokban használt adóimpulzusok



időtartama azonos: 100  $\mu$ s, és minden radar használjon két vivőfrekvenciát, ahol a koherens jelintegrálások száma nyolc. Továbbá a Blake Chart-számításokhoz a drón-detektálás minősége legyen „Sw1” fluktuációs modell szerint  $P_d = 0,8$ , és  $P_{vl} = 10^{-6}$ . A drónok becslött maximális detekciója a 4. táblázat szerinti RCS-sel az alábbiak szerint változik.

4. táblázat  
Az „S” és az „X” sávú rádiólokátorok maximális drón-detektálási lehetőségei [a szerzők számítása]

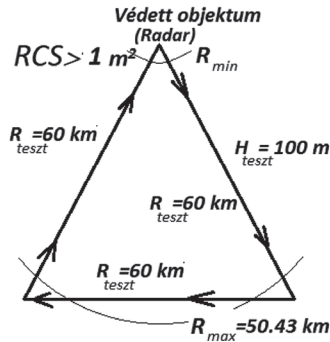
Dróntípus / RCS [m <sup>2</sup> ]	$R_{max}$ [km] („S” sáv: $\lambda=0,10$ m)			$R_{max}$ [km] („X” sáv: $\lambda=0,03$ m)		
	$P_t = 300$ kW	$P_t = 1$ kW	$P_t = 10$ W	$P_t = 300$ kW	$P_t = 1$ kW	$P_t = 10$ W
DJI Mavic/0,01 m <sup>2</sup>	107 km	27 km	8,7 km	23,2 km	5,7 km	1,8 km
AGRAS T20/0,1 m <sup>2</sup>	186 km	47 km	15 km	40,4 km	10,1 km	3,2 km
HERMES 900/3 m <sup>2</sup>	430 km	107 km	35 km	90,6 km	23,2 km	7,5 km

## 5. Tesztrepülési profilok optimalizálása

A 3. pontban megfogalmazott performanciavizsgálatok elvárásai közül az *első*, „S” sávú rádiólokátorokkal biztosan, míg a kis méretű AESA antennával rendelkező „X” sávú rádiólokátorokkal részben megoldható. (Lásd műszaki részletek az 1. és 4. táblázatokban.) Az *elvárások második és harmadik pontjai* teljesüléséhez szükséges eszközök a „mikrohullámújel-detektor”, rádiólokátor (például „X” sávú) és az „integrált optikai és hőkamera” rendszer kimenő adatainak tárolása, és a drón GPS-helyzetét, mozgásparamétereit rögzítő fedélzeti adatgyűjtés együttes kiértékelése. Az *elvárások ötödik és hatodik pontjainak* teljesíthetőségéhez figyelembe kell venni a megfigyelőrendszer és a drónok mozgása közötti környezeti viszonyokat. Például a rádiólokátorok állócélszűrő rendszerei „érzékenyek” lehetnek a céltárgyak számukra „vak” sebességeire, a többszörös hullámterjedésre és jelreflektációkra, ezért fontos, hogy a repülési profil a céltárgy mozgását tangenciális, majd közelítő és távolodó radiális pályaszakaszokon egyszerűen kiértékelhető módszerekkel mérje. A javasolt mérési megvalósítás szavatolja a mérési eszközök, eljárások helyszíni adaptálhatóságát és továbbfejlesztettségét, valamint az eredmények költséghatékony kiértékelhetőségét.

Tapasztalatok szerint az elvárások teljesítéséhez optimálisak az egyenlő oldalú háromszög útvonalon, adott magasságon repülő drónok (lásd 6. ábra), amilyeneket rádiólokátorok kiegészés „berepüléséhez” már évtizedek óta használnak. Természetesen a repülés fedélzeti adatait rögzítik, és a kiértékelés összeveti ezeket a megfigyelőrendszer mérési eredményeivel. Az eljárás alkalmazásával megoldható a védendő objektum környezetében felbukkanó illegális repülőeszközök, például drónok detektálása, útvonalba fogása és mozgásparamétereik értékelése. Tapasztalatok szerint célszerű az elvárt repülési magasságot a legnagyobb valószínűséggel elvárt eredményt biztosító magassággal, például az 1. táblázat szerinti 300 m mint viszonyítási szint, kezdeni. A háromszög oldalai mentén összegyűjtött adatokat, a mért helyzetet (távolság, oldalszög és a helyszög), a sebességet, a jeldetektálás hiányát külön-külön értékelik és vetik össze a referenciaadatokkal, például GPS-jelentésekkel. Ha ezen a magasságon teljesülnek a megfigyelőrendszerrel szembeni minőségi követelmények, a repülések folytathatók a következő 250 m magassággal. Ha a földfelszínhez közelebbi magasságon a drónrepülés megfigyelési elvárásai nem teljesülnek, az ennél is alacsonyabb magassági tartományok tesztelése csak rosszabb eredményt adhat. Az adatok kiértékelését megkönnyíti,

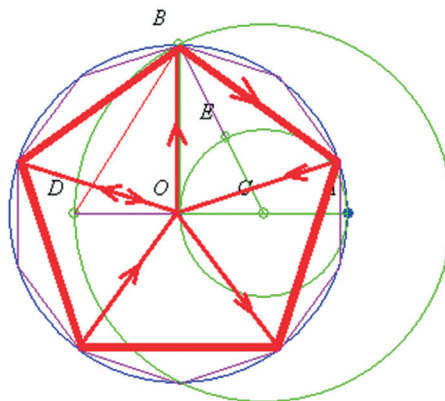
ha a háromszög csúcsaiban nincs jeldetektálás. Ez a helyzet könnyen kialakítható, ha például a nagy radarkeresztmetszettel (RCS) rendelkező drónok távolságban a radarhorizont alá kerülnek, ugyanakkor kis drónok 3 km-n belüli repülései esetén ez gyakran nem teljesíthető.



6. ábra

A kisgépek/„nagy” drónok optimális tesztrepülési profilja [a szerzők számítása, szerkesztése]

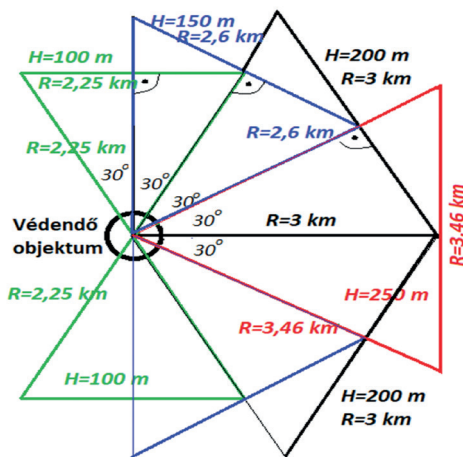
Nagy területek minél hatékonyabb berepüléséhez célszerű kihasználni a geometria nyújtotta lehetőségeket [8]. „Pontszerű” kiemelten védett területek, például a Budapesti Rendőr-főkapitányság (BRFK) épületének adott repülési magasságon leghatékonyabb repülési profilja az *egyenlő oldalú ötszög mentén történő repülés*. Természetesen az ötszög itt is szabályos háromszögekből áll, ahol a középpont irányába történő sugárirányú ki- és berepülések alkotják a szabályos háromszög oldalait. A repülési profil tervezésének menetét a 7. ábra szemlélteti. Az egymáshoz illeszkedő háromszögek szárainak a legveszélyeztetettebb irányokba forgatásával meghatározható a különböző magassági tartományokra vonatkozó tesztrepülési profilok minimálisan szükséges száma. A „pontszerű” objektumok körüli repülési profilokat nevezzük „vörös” légtérnek. Természetesen ez esetben is a referenciarepülési magasságon kell a megfigyelőrendszernek teljesíteni a minimális performanciaelvárásokat.



7. ábra

Egyenlő oldalú ötszög repülési profil tervezése [8] grafikai kiegészítésével

A 8. ábrán bemutatott drónrepülési profilok tovább optimalizálják a performanciamérésekhez szükséges idő- és eszközhasználatot a legveszélyeztetettebb irányok kijelölésével. Ennek elve, hogy a szabályos háromszög területe, magassága a beírt kör sugara és a köré írt kör sugara a dróndetektálás 3 km-s követelményeivel származtatható (lásd 8. ábra, „vörös” háromszög  $H = 250$  m repülési magassággal). A „fekete” szabályos háromszög,  $H = 200$  m magasság repülési útvonalát a „vörössel” jelzett háromszög magasságának talppontjából indított és az oldalakat derékszögben metsző egyenesek jelölik ki. A „kékkel” és „zölddel” jelzett  $H = 150$  m, és  $H = 100$  m repülési magasságok szabályos háromszögei hasonlóan határozhatók meg.



8. ábra

A legveszélyeztetettebb irány, „vörös” légtér, tesztdrónrepülési profiljai [a szerzők számítása]

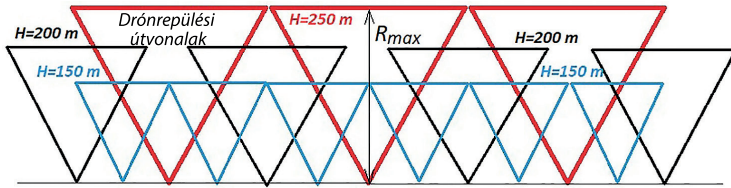
A drónrepülések számának optimalizálásához meg kell határozni a szabályos háromszögek által átfedésekkel lefedett területek nagyságát, amely:

$$T_{\text{össz}} = \sum_1^i \sum_1^n \frac{\sqrt{3}}{4} R_i^2 \quad (5)$$

ahol:  $n$  – a drón által adott repülési magasságon repült szabályos háromszögek területe,  
 $i$  – az elvárt különböző repülési magasságok száma:  
 ...300 m, 250 m, 200 m, 150 m, 100 m, 50 m, ...

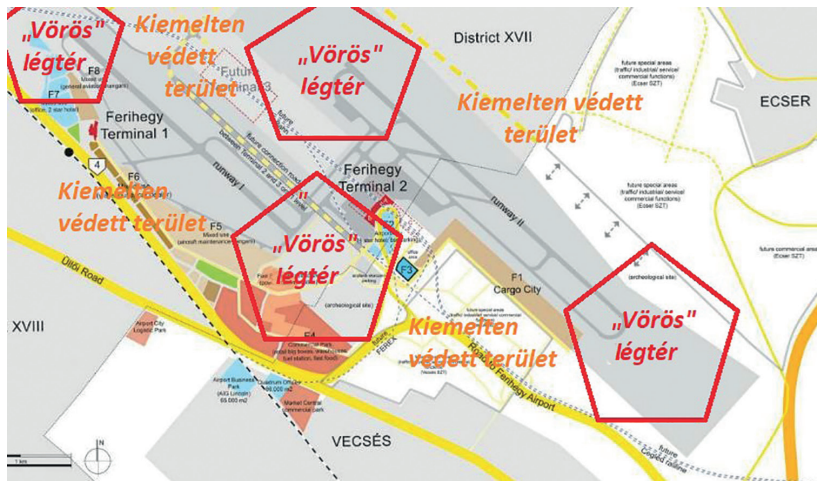
Ezeket az adott magassági repüléseket meghatározó szabályos háromszögeket használhatjuk *vonalas*, például határellenőrzés, védelmi rendszer tesztrepüléseinek optimalizálásához. Ezt szemlélteti a 9. ábra, ahol a rendszer repülési magasság szerint strukturált tesztdrónrepülési profiljai és azok átfedése látható. Ez az elvárás megfelelő adott határszakaszok „kiemelten védett légtereinek” performanciavizsgálataihoz. Természetesen a gyakorlatban megvalósuló *in-situ* mérések esetén a vonalas határszakaszok performanciavizsgálatára elfogadott

„kiemelten védett légterek” módszert kombinálni kell a legvesélyeztetettebb irányok számára kidolgozott „vörös” légtér eljárásokkal. Ez azért szükséges, mivel a vonalas védelmet gyakran megszakítják utak és más a drónmegközelítés rejtettségét megkönnyítő környezeti elemek.



9. ábra  
„Kiemelten védett légterek” teszt-drónrepülési profiljai [a szerzők szerkesztése]

A 10. ábra egy kombinált teszt-környezetet, a Liszt Ferenc nemzetközi repülőtér elképzelt drónvédelmének tesztlégtereit szemlélteti. Természetesen a kifutópályák le- és felszállási irányában, „vörös légtérben” felbukkanó különböző típusú drónok detektálási performanciája részletesebb vizsgálatokat és dróntesztrepüléseket kíván, mint a „kiemelten védett területek”.



10. ábra  
Repülőtér drónvédelmének légterei (elképzelés) [a szerzők szerkesztése]

Az elkövetkező évtizedekben a magyar légvédelem és tüzésérzékelő elemeinek gerincét az ELM-2084 MMR (*Multi-Mission Radar*, több feladatú rádiólokátor) radarcsalád technológiája és továbbfejlesztésének lehetőségei fogják meghatározni [9]. A 11. ábrán látható rádiólokátor tökéletesen megfeleltethető nagy kiterjedésű kiemelten védett objektumok, például a Paksi Atomerőmű légtérének drónmegközelítést felügyelő rendszere központi elemeként. A 11. ábra bemutatja a különböző fenyegetettség ellen használható alrendszerek elhelyezkedését, amelyek műszaki paraméterei az előzőekben felvázolt elvárásokkal, táblázatokkal és mód-szerekkel költséghatékonyan értékelhetők.



11. ábra

Az ELM-2084 MS MMR rádiólokátor alrendszerei [9] grafikai kiegészítésével

Az érdeklődők számára a rádiólokátorok és egyéb érzékelőrendszerekkel kapcsolatos *in situ* performanciamérésekkel kapcsolatban további hasznos információ található a szakirodalomban [10], [11], [12].

## 6. Összefoglalás

A tanulmány felhívja a figyelmet a kiemelten fontos objektumok drónmegközelítéseinek veszélyeire, és elemzi az ellenük való védelem szükségességét és lehetőségeit. Bemutatja, értékeli és számításokkal bizonyítja a drónmegközelítések elleni védelmi rendszer performanciavizsgálatának elvárásait. Ajánlást fogalmaz meg a tesztdrónok védendő objektum körzetére vonatkozó optimális repülési profiljainak kidolgozására, a performanciamérések idő- és költséghatékony megvalósítására.

Megállapítja, hogy tesztrepülésekkel pontos adatokhoz juthatunk a napjainkban egyre növekvő drónfenyegetettségek térbeli elhelyezkedéséről, irányairól és azonosítási lehetőségeivel kapcsolatban, amely jelentősen hozzájárulhat a védendő objektumok drónokkal történő megközelítéseinek jelzéséhez, dokumentálhatóságához és ezzel például repülőterek és atomerőművek biztonságos üzemeltetéséhez.

A tanulmány célja a címben jelzett feladatok módszertani összefoglalása és a kapcsolódó feladatok részletesebb kidolgozása szükségességének jelzése. Ugyanakkor a feladatok végrehajthatóságához tehetséges, a kihívásokat értő, egyben kreatív hadmérnökök szükségesek.

## Felhasznált irodalom

- [1] edge ai + vision, *Vision Processing Opportunities in Drones: The Drone Market size. 2020–2025*. 2016. szeptember 15. Online: [www.edge-ai-vision.com/2016/09/vision-processing-opportunities-in-drones/](http://www.edge-ai-vision.com/2016/09/vision-processing-opportunities-in-drones/)
- [2] Drone Hungary – Magyarország legnagyobb Drónos közössége
- [3] Drónpilóták Országos Egyesülete, *Drón és modell repülés jogi szabályozás*. Online: <https://doe.hu/dron-es-modell-repules-jogi-szabalyozas>
- [4] Pillsbury Law, *FAA Seeks Drone Detection and Mitigation Systems for Airport Testing*. Online: [FAA Seeks Drone Detection and Mitigation Systems for Airport Testing \(pillsburylaw.com\)](http://www.pillsburylaw.com/FAA-Seeks-Drone-Detection-and-Mitigation-Systems-for-Airport-Testing)
- [5] Dudás Z., Újvári B., „A drónelhárítás módszerei és lehetőségei,” *Repüléstudományi Közlemények*, 32. évf. 3. sz. pp. 135–141. 2021. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2020.3.11>
- [6] AARTOS Drone Detection System, <https://drone-detection-system.com/aartos-dds/product-overview/>
- [7] *Radar Horizon and Target Visibility Calculator*. Online: [www.translatorscafe.com/unit-converter/en-US/calculator/radar-horizon/](http://www.translatorscafe.com/unit-converter/en-US/calculator/radar-horizon/)
- [8] *Az arany metszés síkgeometriája*. Online: [www.jgypk.hu/tanszek/matematika/speckoll/2001/arany/04\\_sikgeometria.htm](http://www.jgypk.hu/tanszek/matematika/speckoll/2001/arany/04_sikgeometria.htm)
- [9] Missile Defense Advocacy Alliance, *ELM 2084 MMR (Israel)*. 2018. december. Online: <https://missiledefenseadvocacy.org/defense-systems/elm-2084-mmr-israel/>
- [10] M. Weiß, S. Sandenbergh, F. Valdes, P. Müller, D. Bok, M. Kohler, D. O'Hagan, P. Knott, „Aspects of Next Generation Sensor/Radar Networks,” in *Proceedings of the 20<sup>th</sup> International Radar Symposium (IRS)*. DGON, pp. 335–345. 2019. Online: <https://doi.org/10.23919/IRS.2019.8768188>
- [11] I. Balajti, „Performance measurements of the radar »In Situ«,” in *Microwaves, Radar and Remote Sensing Symposium, MRRS 2008*. Kiev, Ukraine, 22–24. September, pp. 334–339. 2008. Online: <https://doi.org/10.1109/MRRS.2008.4669608>
- [12] D. K. Barton, „Radar System Analysis and Modeling,” *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 40. évf. 4. sz. pp. 23–25. 2005. Online: <https://doi.org/10.1109/MAES.2005.1423386>
- [13] <http://nosint.blogspot.com/2015/04/iaf-hermes-900-drone-disrupts-any-enemy.html>
- [14] <https://elvuelodeldrone.com/drones-profesionales/drones-dji/dji-agras-t20/>

---

## Performance Testing of the Defence Capabilities of High-Priority Objects against Drone Air-Surveillance

*Protecting against unauthorised surveillance of drones is the responsibility of the present and near future. Our solution depends largely on the risk of unauthorised information being used. By these assessments, one has to decide that the tasks of the object's guard, in addition to simple visual airspace observation, should be accompanied by complex drone activity detection systems. As the threat is real and unauthorised drone sightings need to be documented in a legally appreciable manner, it is expected that the drone activity detection capability of the area to be protected will be properly tested. Virtually all objects to be protected have different environmental characteristics, attributions, and the number of drones that can be used for*

*surveillance and the ways in which they are used vary considerably. Therefore, the most important requirement for testing is the use of comprehensive, reliable, time-effective and cost-effective test procedures for defence capabilities where it is possible. Performance tests are expected to provide objectively evaluated data without knowing the location and the quality of elements of the object or protection system to be protected.*

**Keywords:** *performance test, drones, air-surveillance, high-priority objects*

Balajti István ny. mk. alezredes Nemzeti Közszerológálati Egyetem Katonai Múszaki Doktori Iskola <a href="mailto:balajti.istvan@uni-nke.hu">balajti.istvan@uni-nke.hu</a> <a href="https://orcid.org/0000-0003-3566-2904">orcid.org/0000-0003-3566-2904</a>	István Balajti ret. Eng. Lt. Col. University of Public Service Doctoral School of Military Engineering <a href="mailto:balajti.istvan@uni-nke.hu">balajti.istvan@uni-nke.hu</a> <a href="https://orcid.org/0000-0003-3566-2904">orcid.org/0000-0003-3566-2904</a>
Turai András ny. mk. alezredes <a href="https://orcid.org/0000-0002-1681-6202">orcid.org/0000-0002-1681-6202</a> <a href="mailto:andrasturai@hotmail.com">andrasturai@hotmail.com</a>	András Turai ret. Eng. Lt. Col. <a href="https://orcid.org/0000-0002-1681-6202">orcid.org/0000-0002-1681-6202</a> <a href="mailto:andrasturai@hotmail.com">andrasturai@hotmail.com</a>