

A PILÓTANÉLKÜLI REPÜLŐGÉPEK RÁDIÓLOKÁCIÓS FELDERÍTÉSÉNEK ÉS MEGSEMMISÍTÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI

A légvédelemnek, mint elérendő célnak, betöltendő küldetésnek az utóbbi évtizedek alatt kialakuló és sok területen megszilárdult képe alapvetően ma is érvényesnek tekinthető. A közelmúlt technikai fejlesztéseinek eredményeként azonban jelentős mértékben kibővült azoknak a légi hadviselési eszközöknek a köre, amikkel a légvédelmi eszközök, egy esetleges fegyveres konfliktus esetén szembe találhatják magukat.

„A légi hadviselési eszközök típusválasztékának kibővülésével természetesen nem változott meg a légvédelemmel szemben támasztott alapvető követelmény, miszerint a saját erők és eszközök ellen irányuló csapások következményeként jelentkező károk, veszteségek csökkentése érdekében a lehető legnagyobb veszteséget okozza a légi ellenségnek. E követelmény kielégítése azonban megköveteli a légi fenyegetést jelentő eszközök, valamint az alkalmazásukból fakadó kockázatok folyamatos értékelését.”¹

A rendkívül gyors technológiai fejlődés, valamint a tömegpusztító fegyverek és hordozóik viszonylag kis befektetéseket igénylő egyre károsabb és veszélyesebb elterjedése, és az általuk jelentett légi fenyegetés jelentős változásokat indukált a légvédelmi feladat minőségében. Míg nem is olyan régen a légi támadóeszközök teljes arzenálját a pilóta által vezetett felfegyverzett repülőgépek, és helikopterek jelentették, addig napjainkra egyre inkább a ballisztikus rakéták illetve a különböző aerodinamikai elven működő robotrepülőgépek, pilótanélküli légi járművek, és levegő-föld osztályú rakétafegyverek alkalmazása került előtérbe.

Mindezek alapján napjainkban a légi fenyegetés spektrumát —vagyis azoknak az eszközöknek a halmazát, amik nagy hatékonysággal képesek a levegőből csapást mérni a föld- illetve vízfelszíni objektumokra — a merevszárnyú repülőgépek, a helikopterek, a harcászati ballisztikus rakéták, a manőverező robotrepülőgépek, a pilótanélküli repülőgépek valamint a levegő-föld osztályú rakéták képezik.

A világ jelentősebb haderővel rendelkező országaiban az utóbbi 5-10 év során a pilótanélküli repülőgépek a figyelem középpontjába kerültek és a mai napig számos katonai kutatás tárgyát képezik. A 70-es évek óta lezajlott háborúk tapasztalatai bebizonyították, hogy a pilótanélküli légi járművek hatásosan és eredményesen alkalmazhatók hadművelleti, harcászati feladatok végrehajtására.

A Jane's magazin 1998-ban készített leltárja szerint 34 ország 241 különböző típusú pilótanélküli repülőeszközt (továbbiakban PNR) fejlesztett ki, amelyek eljutottak az alkalmazás vagy a tesztelés szintjéig. Ezek többségét —112 típus — légi célok imitálására, valamint légvédelmi lögyakorlatokon célanyagnak használták. A PNR-ek közül 78 típust légi felderítésre és célmegfigyelésre alkalmaztak, 15 típust pedig elektronikai hadviselési célból fejlesztettek ki. A katonai felhasználás mellett előtérbe került a civil területeken történő alkalmazás. Kutatási célokra és polgári felhasználásra 36 különböző típusú PNR-t gyártottak. A pilótanélküli repülőeszközöket gyártó államok közül az első öt helyen a következők álltak:

¹ Ruttai L.–Krajnc Z.–Koós G.–Papp T.–Bunkóczi S.: A légvédelmi rakéta- és tüzércsapatok alkalmazásának alapjai. Tanulmány, 3.p, ZMNE, 2002.

- Egyesült Államok — 73 típus;
- Egyesült Királyság — 26 típus;
- Kanada — 17 típus;
- Izrael — 16 típus;
- Franciaország — 15 típus.

A PILÓTANÉLKÜLI REPÜLŐGÉPEK JELLEMZŐI

A pilótánélküli repülőgépek kategóriája felöleli a távirányítású és a programvezérlésű pilótánélküli járműveket egyaránt. Alapvető jellemzőjük, hogy a viszonylag alacsony előállítási és beszerzési költségeik ellenére rendkívül sokoldalúan alkalmazhatók. Ennek megfelelően felhasználhatók felderítési, megfigyelési feladatokra, elektronikai hadviselésre, föld- illetve vízfelszíni célok elleni csapásmérésre egyaránt, de részt vehetnek a légvédelmi rendszer elnyomásában, és bevonhatók tűzérési tűzvezetésre és megtévesztésre is. Nagy előnyük, hogy kezelőszemélyzetük — akik a bevetések során nem teszik kockára az életüket — a repülőgép vezetőknél lényegesen kevesebb kiképzést igényel.

A pilótánélküli repülőgépek megsemmisítése — kis méretük és ennek megfelelően kis hatásos radarhullám visszaverő keresztmetszetük, valamint rendkívül alacsony repülési magasságuk miatt — nehéz feladatot jelent a légvédelem számára.

A pilótánélküli repülő eszköz (Unmanned Aerial Vehicle — UAV) rendszer elleni tevékenység a felderítésükkel veszi kezdetét. Annál hatékonyabban tudunk ellenük tevékenykedni, minél több és pontosabb információval rendelkezünk azok alkalmazásáról. A pilótánélküli repülőgépeket nem egyes eszközként, hanem rendszerként kell kezelni. A pilótánélküli repülőgéprendszer négy alrendszerből tevődik össze, melyek a földi irányító állomás alrendszer, a repülőgépek, a moduláris rendszerű fedélzeti berendezések és a kommunikációs alrendszer. A továbbiakban a rendszer légi elemeinek felderítésével és megsemmisítésével kívánunk foglalkozni.

A pilótánélküli repülő eszközök kis rádiólokációs visszaverő felülettel rendelkeznek, hajtóműveik zajszintje, illetve infravörös kisugárzása jelentéktelen. A kis hajtóművek ellenére jó repülési, manőverezési tulajdonságokkal rendelkeznek.

A PNR-ek erőforrásainak döntő többsége dugattyús, kétütemű, léghűtéses, belsőégésű motor, amely egy vagy több légcavart hajt, de a nagyobb hatósugár és a sebezhetőség csökkentése érdekében alkalmazhatnak torlósugár hajtóműveket is. Az így elérhető sebesség a nagyon nagytól szinte a nullaig terjedhet.

A pilótánélküli repülőgépek repülési magassága is széles tartományban változhat. A harcászati PNR-ek repülési magasságát a kézifegyverek lőtávolságán kívül választják meg, de típustól függően 50–7000 m közötti tartományban képesek repülni. A korszerű hadászati pilótánélküli repülőgépek repülési magassága a 20 000–23 000 métert is elérheti.

A PILÓTANÉLKÜLI REPÜLŐGÉPEK RÁDIÓLOKÁCIÓS FELDERÍTÉSE

A pilótánélküli repülőgépek rádiólokációs felderítésének nehézségei

A pilótánélküli repülőgépek elleni harc a detektálásukkal kezdődik. A detektálás során számos probléma jelentkezik. Ezek egy része a pilótánélküli eszközök jellemzőiből, a másik részük a rádiólokációs eljárások korlátaiból fakad.

A pilótánélküli repülőgépek geometriai mérete kicsi, ráadásul a szerkezeti kialakítás során a rádiólokációs energiát szétszóró és áteresztő, valamint elnyelő anyagokat alkalmazhatnak (lopakodhatnak). Ezen technikai megoldások azt eredményezik, hogy a PNR-ek hatásos visszaverő felülete (hatásos keresztmetszete) $0,1 \text{ m}^2$ -től $0,005 \text{ m}^2$ -ig változhat. A hatásos keresztmetszet ilyen mértékű lecsökkenése maga után vonja a radarok felderítési távolságának csökkenését. Az L és az S sávban üzemelő felderítő radarok nem képesek ezt a problémát megnyugtatóan megoldani. A szakértők egyetértenek abban hogy szükség van 90 MHz alatt és $200\text{--}400 \text{ MHz}$ frekvenciasávokban üzemelő felderítő radarok alkalmazására is.

A következő problémát a nagyon kicsi és a nagyon nagy repülési magasság okozza. A kis és földközeli magasságon tevékenykedő pilótánélküli repülőgépek felderítési távolságát alapvetően a rádiólokátor technikai lehetőségei, valamint a föld görbülete befolyásolják. Földközeli és kis magasságon a maximális felderítési távolságot az egyenes láthatóság távolsága (rádióhorizont) határozza meg.

$$D_{km} = 4,12 \left(\sqrt{h_a} + \sqrt{h_c} \right) \quad (1)$$

ahol: D_{km} — a maximális felderítési távolság [km];
 h_a — a radar antenna magassága [m];
 h_c — a céltárgy magassága [m].

Ezen kívül a tereptárgyak által okozott fedezősögek tovább csökkenthetik a PNR-ek felderítésének lehetőségeit. A földfelszínről való visszaverődések kiszűrése tovább rontja a felderítés távolságát és a koordináták pontosságát.

A felderítési távolság növelhető a radarok magaslatokra telepítésével, valamint magasított antennák alkalmazásával. A lehetséges felderítési távolság lényeges növelésére azonban a radarok repülőgépre vagy léghajóra telepítése hozhat csak megoldást. Ha 3600 m magasan helyezzük el a radart, akkor 312 km távolságból detektálható a 250 m magasan repülő pilótánélküli repülőgép, amit egy földi radar csak alig több mint 70 km távolságból lenne képes felderíteni.

A nagy magasságon tevékenykedő pilótánélküli repülőgépek detektálhatóságát főként a hatásos keresztmetszete befolyásolja. További nehézséget jelent a radarok holtkúpja, és a sugárnyaláb szirmokra hasadása következtében fellépő nem összefüggő rádiólokációs mező. Ezek a problémák is orvosolhatók a radar nagy magasságba emelésével.

A jelenleg rendszeresített felderítő radarok lehetőségei

A légierő jelenleg a légtérellenőrző csapatoknál P-18, P-14 Oborona, P-37, SZT-68U, és PRV-17 típusú radarokat tart rendszerben. Ezen kívül a légvédelmi rakéta és tűzér csapatok is rendelkeznek felderítő radarokkal, melyek P-18, P-40, PRV-16 és SHORAR MCP típusúak.

Ezen radarok technikai leírásaiból meghatározható az 1 m^2 -es hatásos keresztmetszettel rendelkező szabvány célmodell felderítési távolsága különböző repülési magasságokon.

Abban az esetben, ha ismerjük egy adott hatásos keresztmetszettel rendelkező céltárgy felderítési távolságát, az alábbi összefüggések segítségével bármely hatásos keresztmetszetű pilóta nélküli légi jármű felderítési távolsága meghatározható:

1. Ha a pilótánélküli repülőgép repülési magassága nagyobb, mint 500 m :

$$D_{feld} = D_k \sqrt[4]{\frac{\sigma_x}{\sigma_k}} \quad (2)$$

2. Ha a pilótánélküli repülőgép repülési magassága kisebb mint 500 m:

$$D_{feld} = D_k \pm \lg \frac{\sigma_k}{\sigma_x} \frac{5,43}{\sqrt[3]{f} (MHz)} \quad (3)$$

ahol: D_{feld} — a kérdéses hatásos keresztmetszetre meghatározni kívánt felderítési távolság;

D_K — az ismert hatásos keresztmetszettel rendelkező céltárgy felderítési távolsága;

σ_x — az a hatásos keresztmetszet aminek meghatározni kívánjuk a felderítési távolságát;

σ_k — az ismert hatásos keresztmetszet;

f — a radar adófrekvenciája MHz-ben.

Felderítési távolságok 0,01; és 0,1 m²-es céltárgyakra km-ben: 1.táblázat

Radar típus	A pilótánélküli repülőgép repülési magassága (m)													
	100		300		500		1.000		4.000		10.000		20.000	
	0,01	0,1	0,01	0,1	0,01	0,1	0,01	0,1	0,001	0,1	0,01	0,1	0,01	0,1
P-18	9	16	13	22	16	28	20	36	45	81	55	98	72	129
P-14 Oborona	9	17	19	34	25	45	33	59	57	101	95	169	126	225
P-37	8	14	13	22	16	28	27	48	35	62	55	98	-	-
P-40	13	22	16	28	20	36	25	45	35	62	69	123	69	123
RPV-17	13	23	20	36	28	51	37	66	57	101	113	202	142	253
PRV-16	11	19	22	39	27	48	35	62	53	80	53	95	53	95
SZT-68U	11	20	18	33	26	46	30	53	39	70	38	67	25	45

Az 1. táblázatban szereplő felderítési távolságok csak számított értékek, amelyeket tovább csökkenthetnek a tereptárgyak által okozott fedezőszögek, az állócélok kiszűrésére bekapcsolt mozgó cél kiválasztó berendezések, valamint harci körülmények között az ellenséges rádióelektronikai zavarások.

A jelenleg rendszerben tartott felderítő radarjaink a 70'-es évek szovjet technikai színvonalát képviselik, mára a többségük technikailag és erkölcsileg is elavult. A korszerű felderítő radarok a rádióhorizont alapján számított maximális felderítési távolságokat 90–95%-os hatékonysággal képesek realizálni. A rendszeresített radarjaink többségének esetében ez az érték alig haladja meg az 50–60%-ot (pl.: P-18: 40%; P-37: 55%; P-40: 65%; PRV-16: 75%).

A légierő felderítő radar rendszere korszerűsítés előtt áll. A beszerzésre kerülő új felderítő radarok képesek a légtérben tartózkodó repülőeszközök nagy megbízhatósággal történő felderítésére és követésére, a korai előrejelzéshez és azonosításhoz szükséges információk biztosítására az automatizált légtérelenőrző, vezetési és légi forgalomirányító rendszerek számára. Minden egyes letapogatás során mérik az észlelt céltárgy koordinátáit (ferdetávolság, oldalszög, magasság), szekunder radarral képesek a kompatibilis fedélzeti válaszadóval ellátott repülőeszközök válaszinformációinak feldolgozására, és a megszerzett információk automatikus kiadására a felhasználók részére. Alacsony szintű melléknyaláb, széles üzemi frekvenciasáv, alacsony adóimpulzus-teljesítmény és impulzus-kompressziós módszerek alkalmazásával nagyfokú műszaki megbízhatósággal valamint alacsony karbantartási igénnyel rendelkeznek.

Léghajóra telepített felderítő radarok

Az (1) összefüggés egyértelműen mutatja, hogy a céltárgyak felderítésének távolsága az antenna magasságának emelésével növelhető. Ez a radarok egy részénél technikailag megoldott és alkalmazzák is. A magasított antennák alkalmazása azonban nem növeli olyan mértékben a felderítési távolságot, mint amekkora ráfordítást igényel.

A repülőgépek fedélzetére telepített radarok (AWACS E-3, HAWKEYE E-2C stb.) azonban teljes mértékben kielégítik azokat a követelményeket, melyeket a modern hadviselés vezetése támaszt a kis magasságon repülő eszközök megfelelő távolságon történő felderítésével szemben. Ezek a rendszerek azonban a beszerzés és üzemeltetés szempontjából igen költségesek.

Az 1970-es években kezdték elsőként az USA-ban a léggömbre szerelt radarkomplexumok kifejlesztését. Ezzel a megoldással lehetővé vált az antenna magasságának növelése a repülőgép fedélzetén alkalmazott radarokkal közel azonos magasság tartományba, lényegesen kisebb költségekkel. 1973-ban készült el az első kísérleti léggömb, majd 1980-ban állították hadrendbe az első Seek Skyhook komplexumokat.

Néhány léggömb radarkomplexum technikai adatai

2. táblázat

A léggömb és radar főbb adatai	SEEK	LASS	SOURBALL	STAS	SASS
A léggömb gyártója	ILC Dover	TCOM	TCOM	TCOM	TCOM
Térfogata [m ³]	7000	16000	15800	700	1316
Emelkedési magasság [km]	3,6	3-3,6	4,5	0,75	2,5
Hasznos tömeg [kg]	454	1800	1800	125	250
Áramforrás telj. [KW]	6	25	-	6	10
Üzemidő [h]	120	720	720	336	336
Radar típusa	AN/DSS-5	AN/TPS-63	AN/TPS-63 v. AN/FPS-117	AN/APS-8	AN/APG-66
Radar gyártója	RCA	Westinghouse	General Electric	ITON	Westinghouse
Antenna típusa, mérete [m]	Tükörreflektor 7,2 x 3,6	Tükörreflektor 7,58 x 4	FAR 7,3 x 3,8	Tükörreflektor 3 x 0,76	Tükörreflektor 3 x 1
Adófrekvencia [MHz]	3100	1215 - 1350	1215 - 1400	9375	97000 - 9900

A fejlesztések során szerzett tapasztalatok alapján immár különleges igényeket is kielégítő komplexum változatokat gyártanak, a feladatok függvényében más és más méretekkkel és fedélzeti berendezésekkel. A kis méretű léggömböket, melyek térfogata 700–1600 m³ kis teljesítményű és kis tömegű radarokkal szerelik fel. Ezek a komplexumok 750–2500 m magassági tartományokban 90–120 km/h szélességgig alkalmazhatók. A nagyméretű léggömbök térfogata 7000–16 000 m³. Ezeket nagy teljesítményű és tömegű radarokkal szerelik fel, alkalmazási magasságuk 3–5 km, 120–170 km/h szélességgig használhatók.

A pilótánélküli repülőgépek felderítése a kis repülési magasságuk és kis radar keresztmetszetük miatt ütközik nehézségekbe. Hogyan képesek megbirkózni ezzel a feladattal a léggömb radarkomplexumok? Az első rendszerített léggömbradar a Seek Skyhook, amelyet AN/DPS-5 típusú radarral szereltek fel. 3,6 km magasságban alkalmazva a maximális felderítési távolsága 280 km ($\sigma = 5 \text{ m}^2$). Ezzel a radarral a $\sigma = 0,1 \text{ m}^2$ -es UAV maximális felderítési távolsága 105 km, a $\sigma = 0,01 \text{ m}^2$ -es pilótánélküli repülőgép pedig 60 km távolságból már felderíthető.

A LASS-LOW léggömb radarkomplexum amely 71M AEROSTAT léggömbből és AN/TPS-63 típusú radarból tevődik össze 5000 m-es magasságból a $\sigma = 1 \text{ m}^2$ -es céltárgyakat 220 km, a $\sigma = 0,01 \text{ m}^2$ -es UAV-t 70 km távolságból képes felderíteni.

A kisméretű SASS-Small Aerostat Surveillance System az AN/APG-66 típusú radart alkalmazva az 1 m^2 -es radar keresztmetszetű céltárgyakat 70 km, a $0,01 \text{ m}^2$ -es radar keresztmetszetű pilótánélküli repülőgépeket 25 km távolságból képes felderíteni.

Összességében megállapítható, hogy a léggömb radarkomplexumok hatékony eszközei a földközeli és kismagasságon repülő eszközök felderítésének, ezen kívül jó lehetőségekkel rendelkeznek a kis radar keresztmetszetű pilótánélküli repülőgépek felderítésében is.

A PILÓTANÉLKÜLI REPÜLŐGÉPEK ELLENI LÉGVÉDELEM

A pilótánélküli repülőgépek elleni harc alapvető módjai lehetnek:

- rádióelektronikai lefogás;
- megsemmisítés.

Rádióelektronikai lefogás

A pilótánélküli repülőgép és a földi irányító állomás közötti adatvételi csatorna megszakításával, melynek következtében a PNR irányíthatatlanná válik. Az irányító csatorna zavarása ugyanakkor nem okozza a pilótánélküli eszköz pusztulását, mivel azok a legtöbb típus esetében önállóan képesek visszatérni az indítási pontra. Ez a módszer az PNR által alkalmazott sugárnyaláb keskeny volta és zavarvédeltsége miatt technikailag meglehetősen bonyolult és költséges.

Külföldi szakértők szerint a felderített információkat a földi irányító pontra közlő adatátviteli csatorna lefogása hatékonyabb lehet az irányító rendszer zavarásánál, mivel a PNR fedélzetén kisteljesítményű adóberendezés van elhelyezve, így annak lefogása egy repülőgép, helikopter vagy egy pilótánélküli repülőgép fedélzetén elhelyezett zavaró berendezéssel elnyomható.

A pilótánélküli repülőgép közvetlen megsemmisítése

Passzív eszközökkel: A II. világháborúból ismert — drót-, vagy nagyszilárdságú műanyaghálókkal kiegészített — ballongátak (léggömbzárak) a kis magasságon repülő PNR-ek ellen ma is célravezetőknek látszanak, bár igen költséges és emberigényes megoldás. A hátránya, hogy a közvetlen tv-adócsatornával ellátott pilótánélküli eszközök pedig képesek kikerülni vagy fölötte átrepülni;

Csőves légvédelmi eszközökkel: Az USA-ban Aquila típusú pilótánélküli repülőgépekkel végzett kísérletek azt mutatták, hogy a csőves légvédelem nem hatékony a kisméretű PNR-ek ellen. A légvédelmi gépágyúk hatótávolsága ugyan kisebb, de a közvetlen támadó pilótánélküli eszközökkel szemben sikeresebbnek bizonyulhat (feltéve, ha az adott objektum környezetében elegendő gépágyú települ). Azok a légvédelmi gépágyúval felszerelt fegyverek hatásosabbnak bizonyulnak, amelyeknek tűzvezető lokátoruk is van;

Légvédelmi rakétafegyverekkel: A légvédelem rakétaeszközei legfontosabb jellemzőiket tekintve igen változatosak. Közöttük megtalálható az alacsonyan támadó légi célok elleni harcra kifejlesztett — könnyű vetőcsőből induló, kis tömegű — kézi légvédelmi rakéta és a néhány

tonna tömegű 30 km magasságig hatásos bonyolult célkövető és irányítóberendezést is hordozó rakéta. Ezek az eszközök kedvező tulajdonságaik miatt — nagy hatótávolság, irányíthatóság, nagy találati pontosság — terjedtek el és szorították háttérbe a légvédelmi tüzer eszközöket. A korszerű légvédelmi rakétafegyverek képesek a kis hatásos radarvisszaverő felülettel és alacsony szintű hőkisugárzással rendelkező PNR-ek megbízható megsemmisítésére azok alkalmazásának minden magasságtartományában.

Speciális módszerekkel: Fontos objektumok, körzetek — léglökési hullámmal pusztító eszközök alkalmazásával történő — közvetlen védelmével, légvédelmi lövegéből vagy egyszerű tarackból kilőhető FAE (fuel-air explosive) gránátokkal;

Repülőgépekkel, helikopterekkel: Ugyancsak a második világháborúból ismert a V–1 pilótánélküli repülőgépek elleni harc mintájára: a kis sebességű, olcsó motoros repülőgépek (sport- és műrepülőgépek) géppuskával ellátott változatai ugyancsak hasznosak lehetnek. Végül a pilótánélküli eszközök elleni speciális eszközöknént a már ma is alkalmazott harci helikopterek megfelelően felfegyverzett és jó manőverező képességű változatai az ellentevékenység kedvező megoldását kínálják.

Új típusú légvédelmi rendszerekkel: Az USA-ban fejlesztés alatt álló rendszerek képesek lesznek alacsonyan támadó robotrepülőgépek, PNR-ek, helikopterek és merevszárnyú repülőgépek nagy távolságban történő megsemmisítésére. Az LCCMD (Low Cost Cruise Missile Defence) rendszer az ellenséges légi járművek váratlan támadásának megakadályozására kerül kifejlesztésre. A szenzorokat léghajók (AEROSTAT-ok) segítségével emelik a magasba, ezzel a felderítési távolságok lényegesen kitolhatók, a költségek aránytalanul nagyra emelkedése nélkül. A rendszer megsemmisítő elemei a földi telepítésű önrávezető légvédelmi rakéták lesznek. A kifejlesztésre kerülő rakétákat fel kívánják szerelni rádiólokációs-, lézer- és infra önrávezető fejjel. A rendszer képes lesz együttműködni más légi telepítésű felderítő radarokkal is a kívánt 270 km-es felderítési távolság biztosítása érdekében. A felderített és azonosított célokra azonnal rakétát indítanak. A minél nagyobb hatótávolság elérése érdekében a rakétát az indítást követően nagymagasságú, ritka légterbe vezérlik, majd léghajóra telepített tűzvezető radar segítségével irányítják a cél körzetébe. Innen a rakéta az önrávezető feje segítségével közelíti és semmisíti meg a célt mintegy 140 km távolságban.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] ALMÁSI Imre: Egyes és csoportos célok hatásos visszaverő felületének. értékelése, hatásuk a rádiólokációs felderítés távolságára. ZMKA, Akadémiai Közlemények 1990/168. sz. 187–204 p.
- [2] BALAJTI István: Korszerű katonai radarok és radaradat-feldolgozó rendszerek. ZMNE, Budapest, 1998.
- [3] FEJES Tibor–PAPP Tibor: Léggömb radarkomplexumok. ZMNE, Budapest, Nemzetvédelmi Egyetemi Közlemények 1997/2. 131–144. p.
- [4] HORNYÁK Zsolt: Pilóta nélküli repülőgépek helye, szerepe a hadviselés eszköztárában, a harcászati alkalmazás kérdései. Szakdolgozat, ZMNE, 2001.
- [5] MARTON Csaba: A pilóta nélküli repülőgép rendszer elemeinek felderítési lehetőségei. ZMNE, Budapest, „Korszerű katonai technológiák a XXI. Században – az új felderítő, elektronikai hadviselési rendszerek koncepciói” című nemzetközi konferencia előadásainak gyűjteménye, 252–270.p
- [6] RUTTAI–KRAJNC–KOÓS–PAPP–BUNKÓCZI: A légvédelmi rakéta- és tüzer csapatok alkalmazásának alapjai. Tanulmány, ZMNE, Budapest, 2002.
- [7] A honi rádiótechnikai csapatok harcászata I. rész. ZMKA, Budapest, 1989. RT/106. A kis és nagy magasságon repülő légi támadóeszközök elleni harctevékenység. A Honvédelmi Minisztérium kiadása, Budapest, 1976.