

**Keszthelyi Gyula<sup>1</sup>**

## **A MI-24 TÍPUSÚ HARCHELIKOPTER HATÉKONYSÁGA KORUNK FEGYVERES KONFLIKTUSAIBAN**

### **III. rész**

#### **A helikopter önvédelmi rendszerei és alkalmazási hatékonyságuk**

<https://doi.org/10.30583/2020.4.005>

Jelen publikáció első része áttekintette a Magyar Honvédségnél rendszeresített Mi-24-es harcihelikopterek fedélzeti rendszereinek jellemzőit, összehasonlította azokat napjaink legkorszerűbb eszközeivel, javaslatot tett a helikopter harci hatékonyságának szempontjából legfontosabb korszerűsítésekre. A második rész bemutatta a harcihelikopterek ellen napjaink konfliktusaiban várhatóan alkalmazott különféle támadóeszközöket, azok jellemzőit. A III. rész elemzi a fenyegetések elleni védelem lehetséges módszereit és eszközeit, s végül értékeli a helikopter modernizálásának lehetőségeit és a modernizálás kockázatait.

#### **Absztrakt**

*A harcihelikopterek elleni fenyegetéseket az általános fenyegetési forgatókönyvtől függően két fő csoportra lehet osztani. Az egyik csoportba tartoznak a csúcstechnológiai fenyegetések, amelyek egy úgynevezett „nagy” háborúhoz kapcsolódnak. A másik csoportba az alacsony technológiájú fenyegetések sorolhatók, melyek elsősorban az alacsony intenzitású és az aszimmetrikus konfliktusokkal vannak összefüggésben. Mindkét esetben a helikopterekre és azok személyzetére a legnagyobb veszélyt a föld-levegő rakéták jelentik, melyek közül proliferációjuk és egyszerű kezelhetőségük miatt a hordozható infravörös önirányítású (továbbiakban: IR), vállról indítható MANPAD(S)*

---

<sup>1</sup> Dr. Keszthelyi Gyula nyá. mk. dandártábornok, repülőműszaki és logisztikai szakterületen (NATO beosztásban is) több szervezet vezetőjeként tevékenykedett; utolsó beosztása a HM Fegyverzeti és Hadbiztosi Hivatal főigazgatója. Jelenleg több civil szervezet elnöke, elnökségi tagja, tudományos folyóirat szerkesztőségének, lektorátusának vezetője, a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola oktatója. ORCID: 0000-0002-7603-2389

*(Man-Portable Air Defense System) rakéták elleni védelem a legfontosabb. Jelen publikáció elemzi a különböző típusú támadóeszközök érzékelésének és zavarásának módszereit és az ellentevékenység hatékonyságát. Végezetül a magyar Mi-24-es flotta technikai korszerűsége alapján értékeli a korszerűsítés lehetőségeit.*

**Kulcsszavak:** Elektronikai Harc Önvédelmi Rendszere, dipól, infracsapda, irányított infravörös ellentevékenység, radar besugárzásjelző, túlélőképesség

### **Abstract**

*Threats against combat helicopters can be divided into two main groups, depending on the general threat scenario. One of those includes high-tech threats related to a “main” war. The other group includes low-tech threats, which are primarily related to a low-intensity and an asymmetric conflict. In both cases, the surface-to-air missiles pose the greatest threat to helicopters and their crews, the most important of which is the protection against the man-portable infrared homing missile (MANPAD(S)) due to their proliferation. Present publication analyzes the methods of detecting and jamming of the different types of surface-to-air missiles, and the effectiveness of the countermeasure applied against them. Finally, it evaluates the possibilities of modernization of the Hungarian Mi-24 fleet, based on their technical condition.*

**Keyword:** Electronic Warfare Self Protection System, chaff, flare, Directed Infrared Countermeasure, Radar Warning Receiver, survivability

### **Bevezetés**

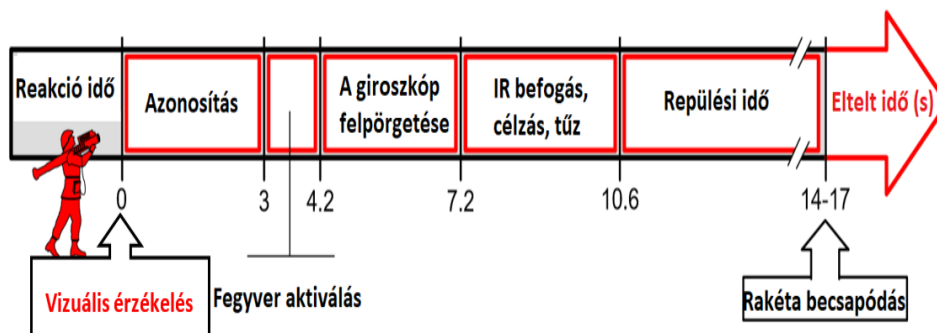
A harcihelikopterekre a legnagyobb fenyegetést a hordozható, vállról indítható infravörös önirányítású rakéták (továbbiakban: IR) MANPAD(S) (Man-Portable Air Defense System) jelentik. Ezek proliferációja az elmúlt évtizedekben szinte nem ismert határokat, mely odáig vezetett, hogy a különböző terrorista szervezetek már a polgári repülőgépek ellen is használják ezeket a rakétákat. A probléma súlyosságát jelzi, hogy napjainkban a legkülönbözőbb nemzetközi szervezetek foglalkoznak az üggyel<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Sean M. Zeigler, Alexander C. Hou, Jeffrey Martini, Daniel M. Norton, Brian Phillips, Michael Schwille, Aaron Strong, Nathan Vest: Acquisition and Use of MANPADS Against Commercial Aviation RAND Corporation 2019

A MANPAD-ek kétségtelenül legnagyobb előnye a könnyű kezelhetőség, amely a gyakorlatban azt jelenti, hogy szinte minden kiképzés nélkül, nagy hatékonysággal lehet alkalmazni azokat a különböző légi célok ellen. Ezért a technika és a személyzet védelmében olyan módszereket és eljárásokat kellett kidolgozni, melyek megelőzik a repülőgépek és a személyzet sérülését. Az eredményes védekezést bonyolítja, hogy a MANPAD-ek fejlesztése már az ötödik generációnál tart, s ezek a generációk jelentősen különböznek egymástól a célkövetés elveiben, módszereiben, így nem lehetett uniformizált védekezést alkalmazni ellenük. Az eltérő célkövetési elvek következtében a helikopter személyzete ma sincs tisztában azzal, hogy egy terrorista csoport milyen generációs rakétát fog alkalmazni, s ez ellen a MANPAD ellen vajon melyik a leghatékonyabb ellentevékenység. Az eredményes védekezést támogathatja a szembenálló fél arzenáljáról származó felderítési információ, azonban ennek minden esetben hitelesnek kell lennie.

A MANPAD-ek alkalmazása viszonylag egyszerűen modellezhető, mely a cél észlelését, a cél azonosítását és a rakéta aktiválása között eltelt úgynevezett reakcióidőket, a tűz kiváltásáig eltelt időt, valamint a rakéta repülési idejét a becsapódásig tartalmazza. Az időszükségleteket az 1. ábra szemlélteti.



1. számú ábra. A rakéta indításától a becsapódásáig eltelt idő szakaszai<sup>3</sup>

Az ábrából levonható legfontosabb következtetés, hogy a helikopterek személyzetének a hatékony ellentevékenységre rendkívül korlátozott ideje van, mely alatt fel kell deríteni a fenyegetést, meg kell kezdeni az ellentevékenységet és adott esetben a kitérő manővert. Ezek a műveletek csak abban az esetben lehetnek sikeresek, ha a helikopter rendelkezik elektronikai harc önvédelmi csomaggal (továbbiakban EWSP:

<sup>3</sup> Johnny Heikell ELECTRONIC WARFARE SELF-PROTECTION OF BATTLEFIELD HELICOPTERS: A HOLISTIC VIEW 29. ábra alapján

Electronic Warfare Self-Protection), mely minimálisan egy Rakétaindításra Figyelmeztető Rendszerből (Missile Warning System, továbbiakban: MWS) vagy Rakétaközeledésre Figyelmeztető Rendszerből (Missile Approaching Warning System, továbbiakban: MAWS) és a zavaróeszközöket kilövő programozható adagolóból (diszpenzerből) áll, melyet az MWS irányít. Napjainkban ez a csomag kiegészül egy Irányított Infravörös Ellentevékenységgel (továbbiakban: Directed Infrared Countermeasure vagy DIRCM) rendszerrel, amely képes megzavarni a legújabb generációs képalkotó keresőfejjel felszerelt rakétákat is. A cikk a helikopter jellemzőiből kiindulva mutatja be a rakéták indításának a felderítésétől, azok megzavarásig terjedő folyamatot, s legvégül a három rész alapján értékeli a Mi-24 típus alkalmazhatóságát korunk fegyveres konfliktusaiban, valamint ajánlást tesz a jövőbeni fejlesztésekre.

## 1. A helikopter főbb azonosító jellemzői

A helikopterek védelme szempontjából meghatározható néhány olyan jellemző, melyek elősegítik egy helikopter felderítését és azonosítását. Ezek közül a legfontosabbakat az 1. táblázat tartalmazza.

### FŐBB AZONOSÍTÓ JELLEMZŐK

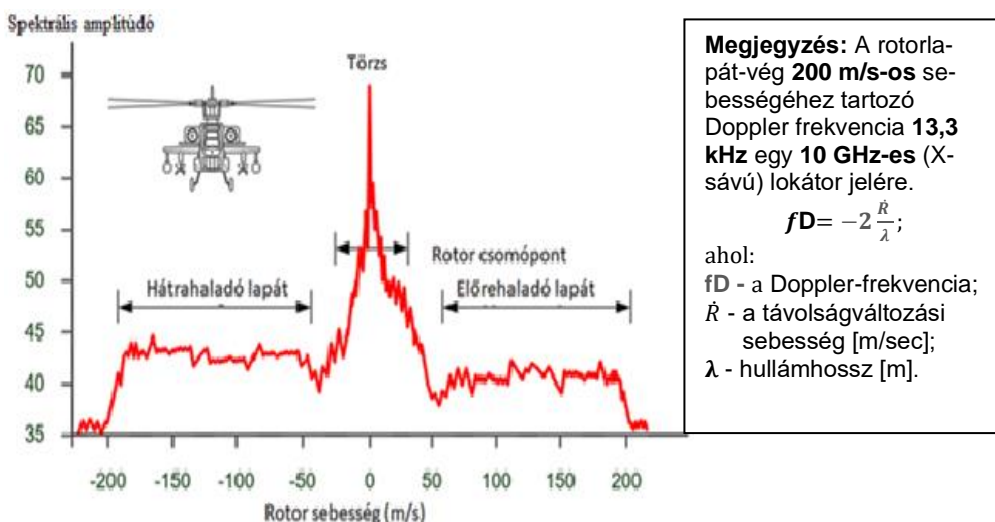
1. számú táblázat<sup>4</sup>

Főbb azonosító jellemzők	
Azonosító jellemzők	Megjelenés
Vizuális	A vizuális azonosításnál a méret a meghatározó tényező, de a különböző egyéb jellemzők is lehetővé teszik a nagy távolságról történő felismerést. Ilyenek a pilótafülke ablakainak és a fém rotorlapátoknak a tükröződése, melyek kiemelik a helikoptert a környezetből ugyanúgy, mint a hajtóműből kiáramló gázok füstje és a pilótafülke megvilágítása.
Infravörös	A napfény és a hajtóműből kiáramló gázok sugárzása elsősorban a 3-5 µm hullámhosszon jellemző, a törzstől eredő fekete test sugárzása pedig 8-12 µm hullámhosszúságú. A hajtóműből kiáramló gázok CO <sub>2</sub> tartalma 4,3 µm-es hullámhossznál nagyobb, ha a kiáramló gázok szennyezettek vagy szilárd részecskéket tartalmaznak.

<sup>4</sup> Johnny Heikell ELECTRONIC WARFARE SELF-PROTECTION OF BATTLEFIELD HELICOPTERS: A HOLISTIC VIEW 12. táblázat alapján

<b>Akusztikus</b>	Erős zajt generál a főreduktorrendszer, a hajtómű és a forgószárny. A rotor zajfrekvenciája a rotorlapátok fordulatszámának és darabszámának a szorzata. Egy négylapátos főrotor esetén az elsődleges frekvencia általában 20-40 Hz. A fő- és a farokrotor frekvenciáinak aránya típus-specifikus, és lehetővé teszi a helikopter azonosítását. A zaj sajátossága, hogy a látótávolságon található akadályok mögött is terjed. A páratlan forgószárnylapát-szám biztosítja a legjobb zajcsökkentési potenciált.
<b>Radarke-resztmet-zet (RCS)</b>	A törzs RCS (Radar Cross Section) átlaga néhány négyzetméter mind a statikus, mind a forgó felvillanás szempontjából. A forgószárny felvillanásának időtartama 0,25–0,5 ms. Lásd a 1. számú ábrát.
<b>Elektro-mágneses kisugárzás</b>	Radarok, kommunikációs rádiók, IFF rendszerek, akadályra figyelmeztető rendszerek és más fedélzeti adók észlelhető és azonosítható jeleket bocsátanak ki.

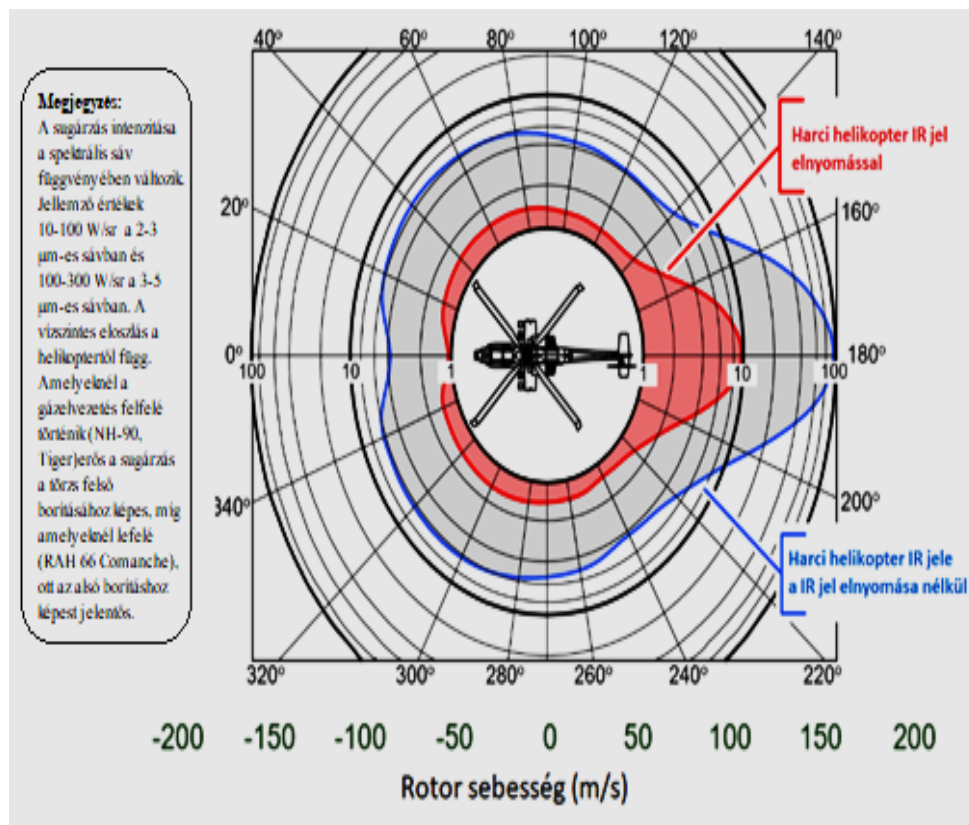
A helikopter radarjel visszaverődésének tipikus Doppler-frekvencia eloszlását a 2. számú ábra, az IR sugárzási intenzitás vízszintes sík-bani eloszlását a 3. számú ábra mutatja.



2. számú ábra. A helikopterről visszaverődő radarhullámok általános spektrális diagramja<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Misiurewicz, J., et al.: Analysis of Recorded Helicopter Echo, Proceedings of the IEE 97 Radar Conference, 14-16 October 1997, pp. 449-453 (IEE Publication No. 449)

Az IR azonosító jellemzők csökkentésének hatásait mutatja a 3. számú ábra egy tetszőleges spektrális sávban.



3. számú ábra. Általános poláris diagram (a sugárzási intenzitás W/szteradiánban<sup>6</sup>)

A helikopterek hatékony alkalmazása érdekében az 1. táblázatban felsorolt főbb azonosító jellemzőket különböző módszerekkel célszerű csökkenteni. Ezek közül a leggyakrabban használtakat a 2. táblázat foglalja össze.

<sup>6</sup> Schmieder, D.E., Walker, G.W.: Camouflage, Suppression, and Screening Systems, Ch. Accetta, J.S., Shumaker, D.L. (eds.): The Infrared and Electro-Optical Systems Handbook, Vol. 7 (Countermeasure Systems), Environmental Research Institute of Michigan, SPIE Optical Engineering Press, 1993

## A FŐBB AZONOSÍTÓ JELLEMZŐK CSÖKKENTÉSE

2. számú táblázat<sup>7</sup>

A főbb azonosító jellemzők csökkentése	
Azonosító jellemzők	Csökkentési módszerek
<b>Vizuális</b>	A helikopter méretének csökkentése, különös tekintettel a frontális nézetre; álcázófestés használata; törzs festése alacsony kontrasztú színekben; a napfény visszatükröződésének csökkentése minden irányból. A rotor frekvenciájának 16 Hz felé növelése; az árnyékok földön történő megjelenésének elkerülése érdekében kis magasságú repülés alkalmazása. Nagyon alacsony magasságú repülés elkerülése poros talaj felett.
<b>Infravörös</b>	Az infravörös elnyomók alkalmazása csökkenti a hőképet, amely azonban általában csak plusz tömeg árán lehetséges (pl.: a sugárzáscsökkentőkkel az AH-64 Apache hajtóművek alkatrészeinek hőmérsékletét 590 °C-ról 150 °C-ra mérséklik.) A törzs-kisugárzás és a napvisszaverődés IR kisugárzásának csökkentése speciális festékekkel. A helikopter frontális oldalának hűtése a forgószárny leáramlásával <sup>8</sup> .
<b>Akusztikus</b>	A forgószárnylapátvég kerületi sebességének csökkentése. Ez enyhíti a zajt, de a felhajtóerőt is csökkenti. További zajscsökkentő módszerek a forgószárnylapátvég alakjának áttervezése, a forgószárnylapátok számának növelése, aktív forgószárnyvezérlés, a forgószárnylapátok egyenetlen elosztása, a „FENESTRON” faroklégcsavar vagy faroklégcsavar nélküli NOTAR elrendezés, továbbá a spektrumeltolás, vagyis a zaj eltolása azokba a sávokba, ahol az emberi fül kevésbé érzékeny <sup>9</sup> .
<b>Radarvisszaverődés</b>	Teljesen kompozit forgószárnylapátok alkalmazása, FENESTRON elrendezés, főreduktor burkolása, radarhullámokat elnyelő szerkezetek és festékek alkalmazása, vezetőképes szélvédő bevonat, a törzs megfelelő geometriája, a fegyverek belső térben történő elhelyezése, impedanciaszabályozás stb. <sup>10</sup>
<b>Emissziós spektrum</b>	A helikopter észlelési valószínűségének csökkentése az emissziókibocsátás szabályozása útján; szórt spektrum; időbeli és térbeli kibocsátás szabályozása; mm-es hullámok és légköri abszorpció csúcsok kihasználása.

<sup>7</sup> Ball, R.E.: The Fundamentals of Aircraft Combat Survivability Analysis and Design, 2nd edition, AIAA Education Series, 2003 táblázat alapján 569-571 oldal

<sup>8</sup> Schwind, G.: Infrared Countermeasures for Helicopter Applications, The Journal of Electronic Defense, May 1991, 61-64. oldal

<sup>9</sup> Kernstock, N.C.: Slashing Through the Noise Barrier, Rotor & Wing, Aug. 1999, 26-33 oldal

<sup>10</sup> Lynch, D. jr.: Introduction to RF Stealth, SciTech Publishing Inc., 2004 7-8. pld.

### 3. A helikopter túlélőképessége

A légi járművek túlélési képességével több szakirodalom is foglalkozik, többek között a MIL-HDBK-2069, mely felosztja azt érzékenységre és sérülékenységre. Általános kiegészítésként a harctéri sérüléssel járó javítás lehetőségét használja (BDR: Battle Damage Repair), mint a túlélés harmadik összetevőjét.

Az érzékenységet a hivatkozott MIL-kiadvány annak mértékeként definiálja, hogy a rendszer mennyire nyitott egy hatékony támadásra egy vagy több eredendő gyengesége miatt.<sup>11</sup> Az érzékenységet gyakran egymást követő folyamatnak tekintik, mely a lehetőség, az elérhetőség és a felderítési képességek összessége. Ezen belül a lehetőség az ellenség tudományos, mérnöki és gazdasági képessége, mely arra irányul, hogy megtámadjon egy rendszert, továbbá szándéka, hogy ezt a képességét ki akarja és ki is tudja használni.

Az elérhetőség a hadszíntéri feltételek állapota, melyek lehetővé teszik számára, hogy ezt a képességet egy rendszer sikeres támadására használja, beleértve a hadszíntér területét és dinamikáját. A felderítés végül az ellenség célgyűjtési és feldolgozási, valamint C3 (parancs, irányítás és kommunikáció) képessége, melyek lehetőséget adnak részére egy fegyver időben történő felderítésére, azonosítására és megfelelő időben történő megtámadására egy műveleti környezetben<sup>12</sup>.

A sérülékenységgel összefüggésben a MIL-szabvány úgy fogalmaz, hogy az a rendszer azon sajátossága, melynek következtében a küldetés teljesítésének lehetősége egyértelműen romlik, mivel a fenyegetéssel terhelt környezet bizonyos szintű negatív hatást gyakorol rá. Egy platform sérülékenységének csökkentésére van szükség, ha az érzékenységet csökkentő intézkedések nem kellően hatékonyak.

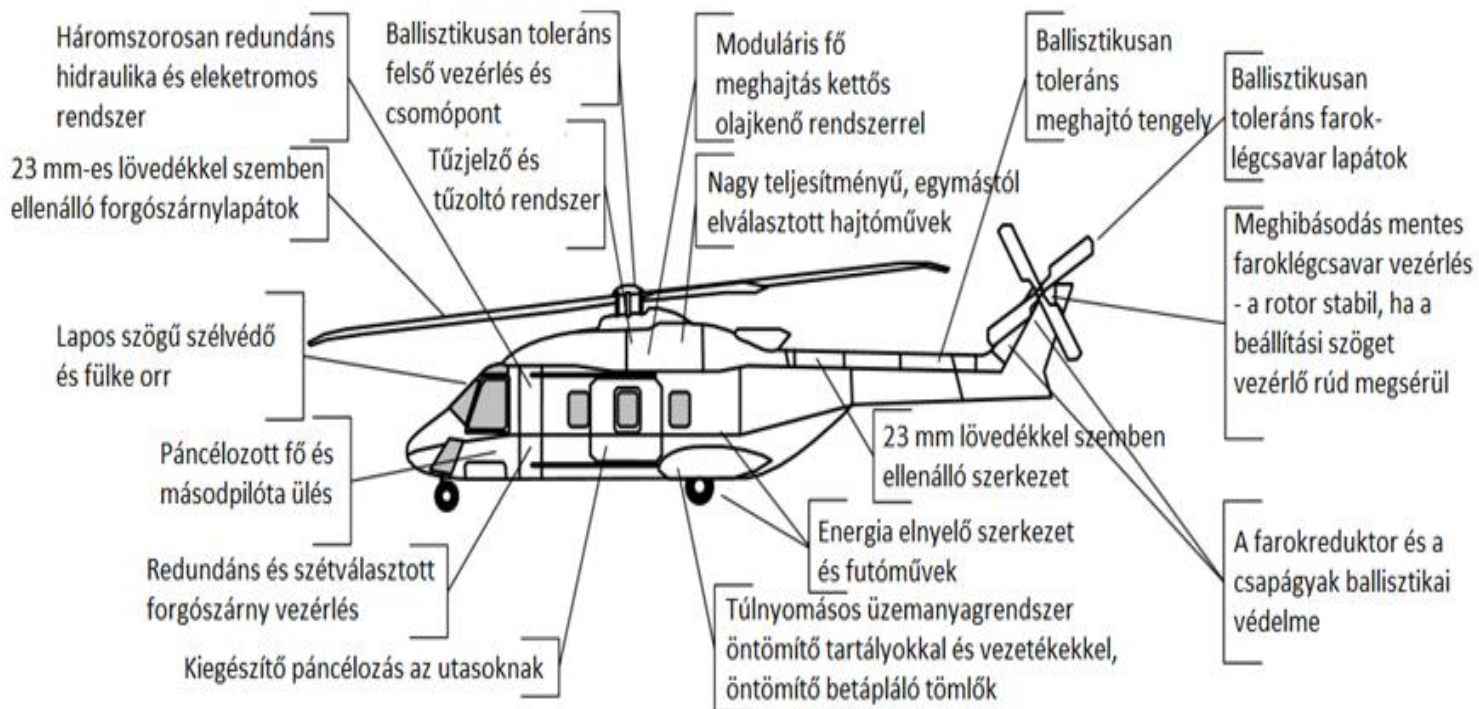
A katonai helikopterek sérülékenység-csökkentésének számos lehetősége van, melyek közül néhány a 4. számú ábrán látható.

---

<sup>11</sup> MILITARY HANDBOOK AIRCRAFT SURVIVABILITY

<sup>12</sup> Electronic Warfare Test and Evaluation Process—Direction and Methodology for EW Testing, AF Manual 99-112, US Air Force, 27 March, 1995





4. számú ábra. A katonai helikopterek sérülékenységét csökkentő megoldások<sup>13</sup>

<sup>13</sup> Ball, R.E.: The Fundamentals of Aircraft Combat Survivability Analysis and Design, 2nd edition, AIAA Education Series, 2003 (140,720-722 oldalak)

Végezetül a túlélőképességet a MIL-kézikönyv úgy definiálja, hogy egy rendszer - beleértve annak személyzetét is - azon tulajdonsága, hogy egy ellenséges környezetben képes elkerülni a fenyegetéseket vagy ellenállni azoknak anélkül, hogy a feladat végrehajtását ellehetetlenítő károsodást szenvedne. A túlélőképességet az érzékenységi és a sebezhetőség elfogadható szintre történő csökkentésével érik el a szilárdság, a fenyegetések elkerülése, a redundancia és a helyreállíthatóság kombinációjával.

A túlélőképesség elérésének alapvető lépései „a legolcsóbb, a leghatékonyabb és a leginkább költséghatékony” sorrendben: a harcászati, a főbb azonosító jellemzők csökkentése, a figyelmeztetés, a zavarás és az álcázás, valamint a repülőgép megerősítése. Ezekből a feltételekből következik, hogy minél nagyobb a fenyegetés, annál drágábbá válnak a túlélési intézkedések, és annál bizonytalanabb a helikopter túlélése.

A helikopterek túlélőképességét alapjaiban befolyásolja a fejlett helikoptervezérlési technológia. Ennek vizsgálata során megállapították, hogy azon helikoptereknél, melyeknél a korszerű „fly by wire” elektromos jelekkel történő elsődleges kormányzási megoldást és karbantartás nélküli kezelési rendszereket alkalmaztak, az eszközök túlélőképessége 20%-kal növekedett, amely megfelel a kritikus manőverek és alacsony magasságú repülések okozta kifáradás 20%-os csökkenésének<sup>14</sup>. A helikopter túlélőképességének összefüggéseit az 5. ábra mutatja be.

Az ábrából látható, hogy a túlélőképesség szavatolásának legfontosabb eszközei a fenyegetések időbeni észlelését biztosító érzékelők, szenzorok, melyek a szükséges intézkedések megtétele érdekében aktiválják a fedélzeti ellentevékenységi rendszereit. Ezek legfontosabb elemeit a következő alfejezet mutatja be.

#### **4. A helikopterek ellentevékenységi rendszere**

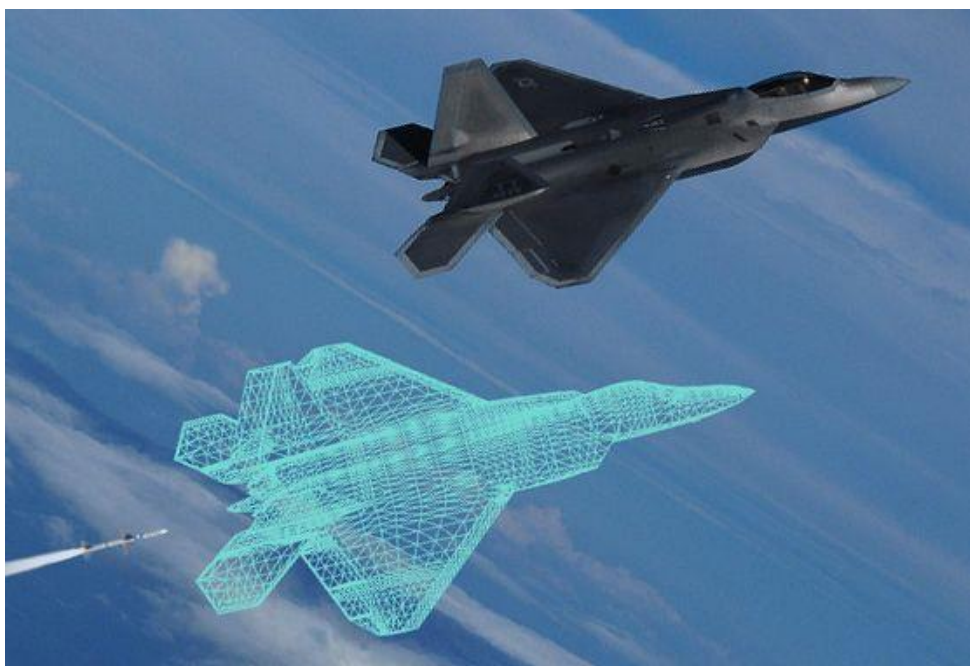
Az elektronikai hadviselési (EW) rendszer feladata a légjárművek túlélőképességének növelése és az alkalmazási hatékonyságuk javítása a komplex és ismeretlen fenyegetések észlelésével és

---

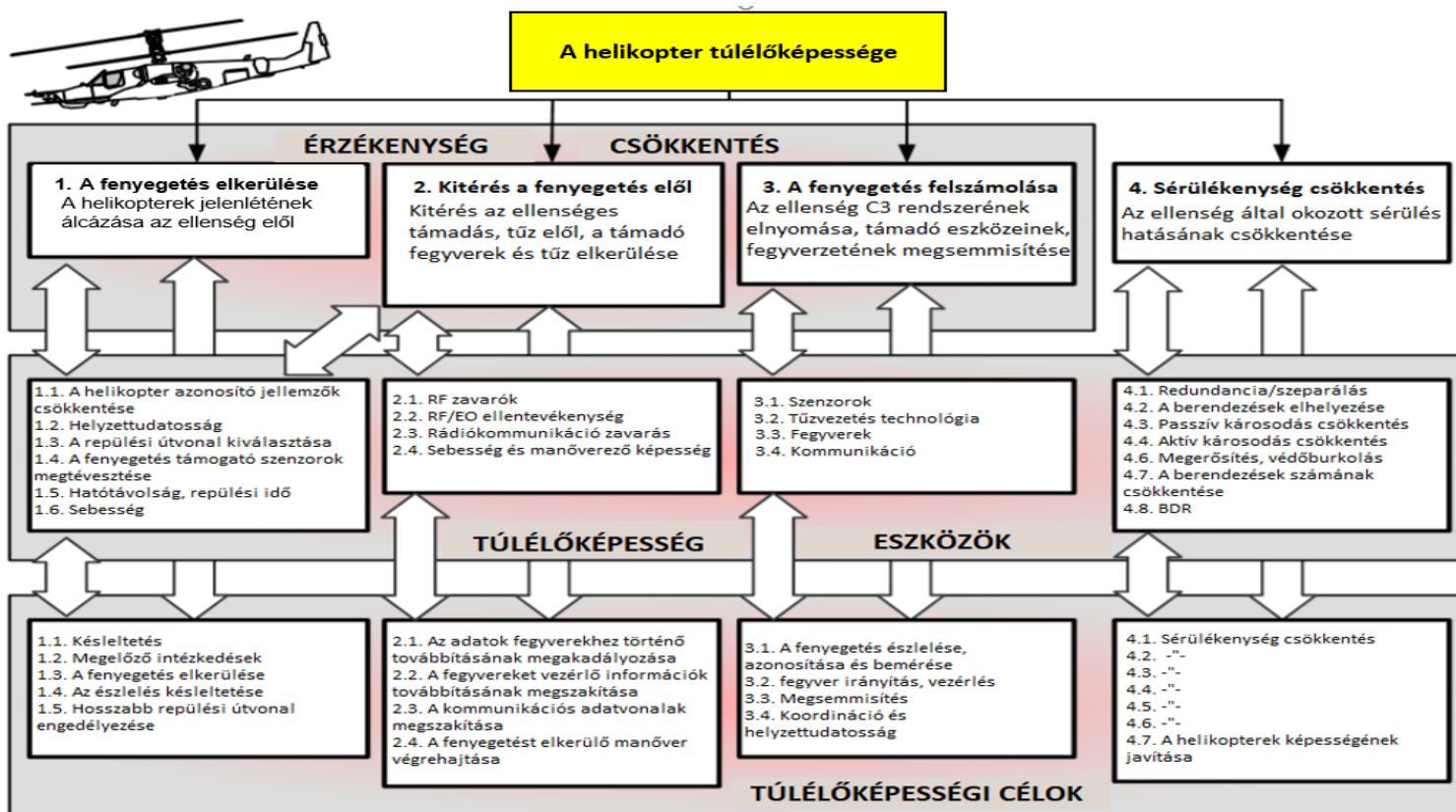
<sup>14</sup> Handcock, A., Howitt, R.: Benefits of Advanced Control Technology, Proceedings of presentations at the American Helicopter Society 56th Annual Forum, Virginia Beach, VA, 2nd – 4th May 2000, 147-154 oldal

leküzdésével. Definíciójába tartozik minden olyan művelet, amely magába foglalja az elektromágneses (EM) spektrum vagy irányított energia felhasználását az ellenség megtámadására vagy az ellenség támadásainak megakadályozására, és akadálytalan hozzáférést biztosít az EM spektrumhoz. Az EW levegőből, tengerből, szárazföldről és/vagy űrből alkalmazható ember által vezetett és pilóta nélküli rendszerek segítségével folytatott tevékenység, amely megcélozhatja az embereket, a kommunikációt, a lokátorrendszereket vagy más (katonai és polgári) eszközöket.

Az elektronikai hadviselés önvédelmi eszköztára (EWSP) az elektronikai hadviselési rendszerek része, amely elsősorban légijárművekre van felszerelve, s feladata, hogy megvédje az adott repülőeszközt az ellenség különféle támadásaitól. A rendszer magába foglalja a DRFM-rendszert (Digital Radio Frequency Memory: digitális rádiófrekvenciás memória), amely a besugárzó rádiófrekvenciás jelet manipulálja, és megtévesztő jelet sugároz vissza; a dipólrendszereket (radar irányítású rakéták ellen), valamint az infravörös önirányítású rakéták elleni intézkedéseket (infracsapdák és az infravörös ellenintézkedések alkalmazásának egyéb fajtáit).



5. számú ábra. Példa a megtévesztésre: a besugárzott repülőgép valódi pozíciója és a megtévesztés hatására mit lát a besugárzó fél (Forrás: [DRFM Technology & Solutions | Mercury Systems \(mrcy.com\)](https://www.mrcy.com))



6. számú ábra. A helikopter túlélőképességének mechanizmusa<sup>15</sup>

<sup>15</sup> Johnny Heikell ELECTRONIC WARFARE SELF-PROTECTION OF BATTLEFIELD HELICOPTERS: A HOLISTIC VIEW Helsinki University of Technology FINLAND Otamedia Oy Espoo 2005 13. ábra lapján

Korunk háborús konfliktusaiban a modern harci helikopterek csak abban az esetben tudnak hatékonyan tevékenykedni és a kitűzött feladatot eredményesen végrehajtani, ha azokat felszerelték korszerű, komplex védelmet biztosító elektronikai ellentevékenységszisztemmel, melynek a következő általános kritériumoknak kell megfelelnie:

- az elektronikus ellentevékenységeket optimálisan, időben, térben és gyakoriságban, valamint a fenyegetési rendszerre maximális ráhatással kell végrehajtani;
- az ellentevékenységek nem veszélyeztethetik a helikoptert vagy annak személyzetét, sem a baráti erőket, sem a polgári tulajdönt.

Ezek a kritériumok általánosak, és minden platformra vonatkoznak.

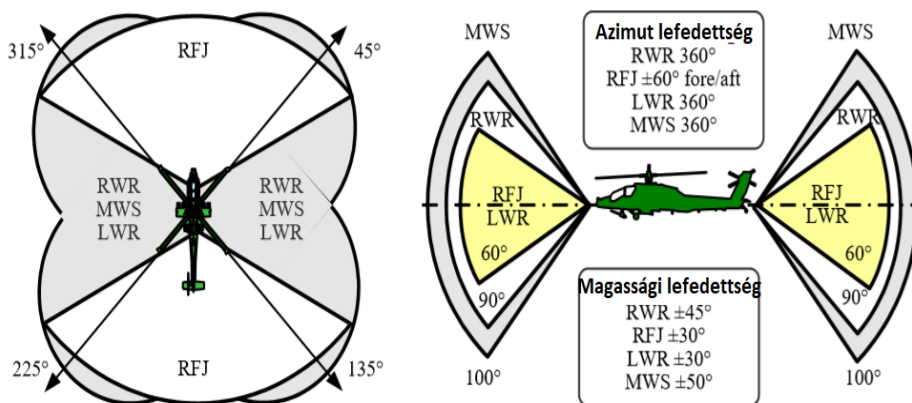
Mivel a harcihelikopterek alkalmazási sajátossága, hogy feladatukat az ellenség területe felett, elsősorban alacsony, földközeli magasságon teljesítik, ezért a forgószárnyas repülőgépekre és személyzetükre legnagyobb veszélyt a rövid hatótávolságú föld-levegő rakéták jelentik. Tekintettel a rakéták rendkívül rövid repülési idejére – különösen a kis magasságon repülő helikopterek ellen alkalmazva –, mely az indítástól a becsapódásig csupán néhány másodperc, az ellenük tett intézkedésekre is nagyon korlátozott idő áll rendelkezésre, mely időtartam alatt (lásd 1. ábra):

- érzékelni kell az indításukat;
- azonosítani kell a fenyegetés típusát;
- megfelelő ellenintézkedéseket kell tenni a vezérlőegységük megzavarására vagy használatuk alkalmatlanná tételére.

Az előzőekből következik, hogy a sikeres ellenintézkedés első lépése a rakétaindítást érzékelő rendszer, melyet vagy a rakéta közeledésére figyelmeztető rendszerként, melynek angol rövidítése MAWS (Missile Approaching Warning System) vagy a rakétaindításra figyelmeztető rendszerként, angolul Missile Warning System (MWS) definiálnak. Ezek a rendszerek észlelik a rakéták indítását, majd azonosítják a fenyegetést, figyelmeztetik a pilótát a támadásra, s jellemzően automatikusan elindítják a megfelelő ellenintézkedéseket a rakéták megzavarására. A korábbi elemzések azt igazolják, hogy a harcihelikopterek figyelmeztető rendszereinek elegendő, időben történő, pontos és prioritást élvező információt kell szolgáltatniuk a releváns fenyegetésekről azért, hogy támogathassák a további ellenintézkedéseket. Az

általánosítás szintjén a kritériumok bármely platform esetében alkalmazandók. Maguk a kritériumok azonban kizárólag iránymutatásként szolgálnak, és idealizáltak. A gyakorlati megoldások megítéléséhez általában konkrét helyzetelemzésre van szükség.

A fenyegetéseket elsősorban a helikopter fedélzetén elhelyezett szenzorok érzékelik, melyek szerkezeti kialakítása az adott fenyegetésre (RF, lézer, IR) jellemző paraméterek mérésén alapul. A 7. ábra egy Apache-64 helikopter figyelmeztetőrendszereinek és az RF-zavaróknak a tipikus térbeli elhelyezését és a szenzorok által lefedett légteret mutatja.



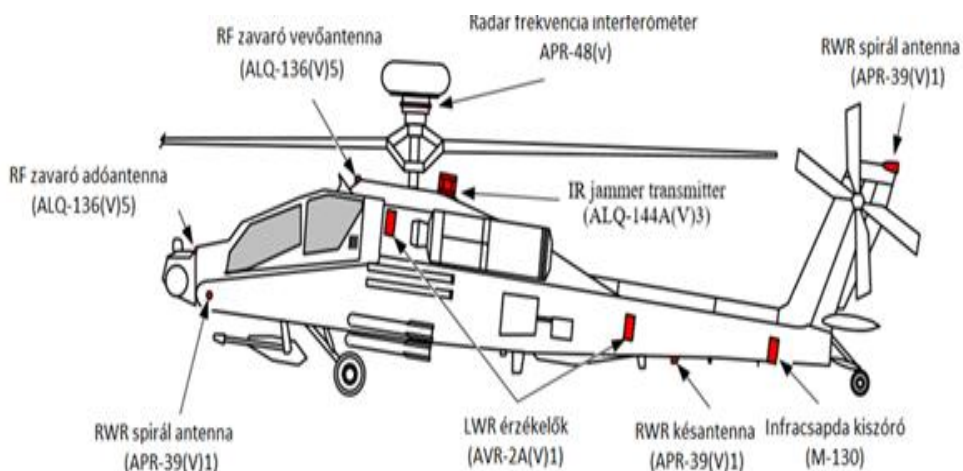
7. számú ábra. Az Apache-64 harci helikopter önvédelmi rendszer szenzorjainak lehetséges alkalmazása és területi lefedettsége<sup>16</sup>

**Jelmagyarázat:**

- LWR = lézerbesugárzásra figyelmeztető vevő,
- MWS = rakétaindításra figyelmeztető rendszer,
- RFJ = RF-zavaró,
- RWR = radarbesugárzásra figyelmeztető vevő.

A 7. ábra alapján a legfontosabbak a lézerbesugárzásra, a rakéta-indításra és a lokátorbesugárzásra figyelmeztető rendszerek, melyek érzékelőknek elhelyezését az AH-64 Apache Longbow helikopter sárkányszerkezetén a 8. ábra mutatja.

<sup>16</sup> Oeh, G.R.: ASPIS Integrated EW Suite for Helicopter Self Protection, Proceedings of the SMI Military Helicopters 98 -conference, London, March 24-26, 1998)



8. számú ábra. A különböző szenzorok elhelyezése az AH-64 Apache Longbow helikopteren<sup>17</sup>

A szenzorok legfontosabb jellemzőit a következő alfejezetek tárgyalják.

## a) Szenzorok

### 3.a.1. Radarbesugárzásra figyelmeztető vevők (RWR)

Az RWR-k RF környezete általában telített a saját erő, az ellenséges és a semleges adók kisugárzásától. Relatív értelemben az RWR-eknek sokkal bonyolultabb környezetben kell működniük, mint a többi figyelmeztetőrendszer elemeinek. Az RWR detektor legfontosabb részei a CVR (Crystal Video Receiver / kristály videóvevő (szélessávú vevő)) és az IFM (Instantaneous Frequency Meter / pillanatnyi frekvenciamérő). A helikopterek esetében az ellenintézkedés rendszerében hangolt vevőket használnak, melyeket napjainkban a digitális vevőkészülékek váltanak fel. Azokban az esetekben, amikor csak a legalapvetőbb RF figyelmeztetőrendszerre van szükség, a CVR vevő továbbra is megfelelő feltételezve, hogy az RF környezet nem tartalmaz erős, egyidejű jeleket. Bonyolultabb feltételek esetén az egyes vevőket a környezet sajátos követelményeinek figyelembevételével kell kiválasztani.

A veszélyek azonosítása és osztályozása napjainkban számítógéppel támogatott folyamat, bár egy tapasztalt kiértékelő még mindig

<sup>17</sup> Johnny Heikell ELECTRONIC WARFARE SELF-PROTECTION OF BATTLEFIELD HELICOPTERS: A HOLISTIC VIEW Helsinki University of Technology FINLAND Otamedia Oy Espoo 2005 112.old.

képes számos fenyegetést azonosítani a radar PRF (Pulse Repetition Frequency / impulzus ismétlődési frekvencia) és AM (Amplitude Modulation / amplitúdómoduláció) jeleinek lehallgatásával, neki a regisztrált jelek azonosításában, utólagos hitelesítésében van szerepe.

A 9. ábrán az RWR rendszer megvalósításának egy példája, a HENSOLDT vállalat Kalaetron besugárzásjelző rendszerének elemei láthatók.



Digitális mellső és hátsó szenzor    Központi jelfeldolgozó egység    Mellső és hátsó antenna

9. számú ábra. HENSOLDT Kalaetron RWR rendszer elemei  
(forrás: <https://www.hensoldt.net/>)

A rendszer legfontosabb jellemzői:

- rendkívül alacsony hamis riasztási arány;
- csak software-es frissítést igényel;
- 100%-os hozzáférés az összes rögzített adathoz;
- az ismeretlen kisugárzóktól érkező jelek rögzítése;
- ESM (Electronic Warfare Support Measures: elektronikus támogatási intézkedések) funkció;
- integrálható az AMPS (Airborne Missile Protection System: fedélzeti rakétavédelmi) rendszerhez;
- legmagasabb elfogási valószínűség;
- kiváló COMS elnyomás (Combat Systems Suppression / harci rendszerek elnyomása);
- kiemelkedő multiszcignál képesség;
- szélerőmű-visszaverődés csillapítása;



- adaptív szűrés HPRR sugárázóhoz (High Pulse Repetition Rate vagy HPRF - High Pulse Repetition Frequency / magas impulzusismétlődésű);
- HENSOLDT mesterséges intelligencia alkalmazása,
- Skálázható moduláris rendszer:
  - RWR-S (2-18 GHz);
  - RWR-M (2-40 GHz);
  - RWR-L (2-40 GHz);
  - Opcionálisan: 0,5-40 GHz és 360°-os lefedés.

### **3.a.2. Lézerbesugárzásra figyelmeztető vevők (LWR)**

Annak valószínűsége, hogy a helikopter elkerüljön egy lézersugárral vezérelt rakétafenyegetést azt követően, hogy a helikopterre már tüzet nyitottak, alacsony. Ez még akkor is igaz, amikor a helikopter LRF (Laser Range Finder/lézer távmérője) előzetes figyelmeztetést ad, mivel az indítószerkezetből kilőtt rakéta csak néhány másodpercet repül a becsapódásig. Ezért az LWR értéke a hagyományos önvédelmi képesség értelmében korlátozott. A helyzet kedvezőbb lehet, ha egy tűzérzési tűzvezető alegység folytat támadást a helikopter ellen, és végzi az LRF mérést, mivel ebben az esetben van egy-két perc tartalékidő az ellentevékenységre a helikopter számára a tűz megnyitásaig. Az LWR további hasznossága abban rejlik, ha az ellentevékenység-rendszer képes a több forrásból származó adatok korrelálására, akkor a fenyegetések bizonytalansága csökken.

Egy lézervezérlésű rakéta ellen a helikopter személyzete nem igazán rendelkezik megfelelő eszközzel, egyedül egy éles kitérő manőver alkalmazása lehet az elméleti megoldás, mely a rakétát repülési pályájának utolsó szakaszán egy nagy túlterhelésű manőverre kényszeríti.

A lézersugaras céljelölők elleni hatékony ellenintézkedési rendszer elveit már a 2004-es években szabadalmaztatták<sup>18</sup> az USA-ban, mely szerint egy ilyen rendszer jellemzően a következőket tartalmazza:

- egy aeroszolos rezonanciaelnyelő anyagot, melynek lézerenergiát elnyelő és csillapító tulajdonságai vannak;

---

<sup>18</sup> 3,992,628

- egy eszközt, mely az aeroszolos anyagot a lézerforrás és a cél közötti, illetve a cél és a róla visszaverődő lézerenergiát vevő eszköz keresője közötti térbe juttatja (felhőt alkot);
- ez az aeroszolos elnyelő anyag, amikor a lézersugár útjába van kihelyezve, a lézersugár elnyelésével és csillapításával jelentősen csökkenti annak energiáját. Az aeroszolos anyag az elnyelt lézerenergiát azután szétsugározza, de ez már nem egyezik az eredeti lézersugár tulajdonságaival (frekvencia, fázis);
- az aeroszolos anyag csökkenti a céltől visszaverődő energia intenzitását is, mivel a visszavert jelnek is át kell haladnia az abszorbeáló aeroszolos felhőn.

Nyilvánvaló, hogy egy ilyen megoldás alkalmazása a nagy sebességgel repülő helikopterek esetében napjainkban nem igazán kivitelezhető, ezért egy lézervezérlésű rakéta ellen a helikopter személyzete nem rendelkezik megfelelő eszközzel, egyedül egy éles manőver alkalmazása lehet az elméleti megoldás, mely a rakétát repülési pályájának utolsó szakaszán egy nagy túlterhelésű manőverre kényszeríti. A gyakorlatban a rakéták néhány másodperces repülési ideje, a személyzetnek a figyelmeztető jelzés észlelésétől és a repülési pálya módosításáról szóló elhatározásának meghozataláig eltelt reakcióideje, a helikopter késedelmes reagálása a botkormány kitérítésére, összességében megkérdőjelezi a kitérő manőver eredményességét.



10. számú ábra. Goodrich AN/AVR-2A rendszerének berendezései  
(forrás: <http://www.goodrich.com>)

A lézervezérlésű rakéták szükséges időben történő érzékelésével számos repülőipari vállalat foglalkozik. Erre egy példa a Goodrich

AN/AVR-2A (9. ábra) lézerbesugárzásra figyelmeztető rendszere. Az AN/AVR-2A (V) észleli, sorrendbe rangsorolja és jellemzi a célmegjelölőt, a távolságmérőt és az irányított sugárnyaláb-fenyegetéseket. Tisztán hallható és a kijelzőn vizuálisan is megjelenő figyelmeztetéseket ad a célzásról, a fenyegetések sorrendjéről és irányáról. A rendszer által a pilóta számára szolgáltatott legfontosabb információ, hogy azonnali kitérő intézkedéseket kell fogantatnia.

A rendszer legfontosabb jellemzői:

- audió és vizuális figyelmeztetés;
- a fenyegetés irányának meghatározása;
- a fenyegetés súlyosság szerinti besorolása;
- 360°-os lefedés;
- a lézer típusának meghatározása;
- alacsony hibaszázalék;
- minden időjárási viszonyok közötti alkalmazhatóság;
- nagy megbízhatóság;
- egy újraprogramozható és kivehető alkalmazói modult is tartalmaz;
- beépített optikai és elektronikai önellenőrző rendszer.

### **3.a.3. Rakétaindításra figyelmeztető rendszerek (MAWS, MWS)**

A rakétaindításra/közeledésére figyelmeztető rendszer (MAWS: Missile Approach Warning System) a katonai repülőgépek elektronikai ellentévékenység csomagjának része, melyben egy szenzorcsoport észleli a támadó rakéták indítását, s egyidejűleg figyelmezteti a pilótát, hogy hajtson végre kitérő manővert és alkalmazza a rendelkezésére álló ellenintézkedéseket a rakéták megzavarására. A repülőgépek IR vezérlésű rakétákkal szembeni hatékony védelme jellemzően a rakéták megbízható észlelésétől, a figyelmeztetéstől és a hatékony ECM alkalmazásától függ.

A fejlett rakétaindításra figyelmeztető rendszerek globális piaca – a rendszer működési elve szerint – az impulzus Doppler elven, az infravörös (IR) és ultrabolya (UV) sávban működő érzékelő típusokra tagozódik.

A következő alfejezet a különböző érzékelési alapon működő szenzorokat, illetve egy kész gyakorlati megoldáson keresztül a lehetséges megvalósítást mutatja be.

### **a) Doppler radarok**

Jellemzően az L-sávban (15-30 cm hullámhosszon) működnek, hogy elkerüljék az ESM (Electronic Support Measures - Elektronikai Ellentevékenységet Támogató Rendszerek) / RWR rendszerekkel való interferenciát, melyek csak 2 GHz felett működnek.

Előnyük a nagy hatótávolság, a minden időjárási viszonyok közötti alkalmazhatóság, a szabályozható riasztási arány, s hogy független a rakéta égéstermékének kibocsátásától, valamint információt biztosít a rakéta repülési idejéről és repülési pályájáról.

Hátránya, hogy alacsony tengerszint feletti magasságon érzékeny a földzavarra, a helikopterek rotorlapátjai rontják az érzékenységet, antennájának viszonylag nagy a helyigénye, s mivel a modern harcászati rakéták RCS-je (radarkeresztmetszete) folyamatosan csökken, a radarral történő érzékelésük egyre nehezebb.

A működési elve lehetővé teszi a közeledő rakéták távolságának és sebességének a mérését. Ezért képes meghatározni a becsapódás várható idejét (TTI), optimalizálhatja az ellenintézkedés (dipól) adagolásának időzítését, s kevésbé érzékeny az időjárási viszonyokra.

A 10. ábrán az izraeli IAI vállalat ELM-2160 rendszere látható, melynek a legfontosabb jellemzői:

- közel 100% -os valószínűségű detektálás;
- rendkívül alacsony téves riasztás;
- pontos távolság- és sebességmérés (a becsapódási idő pontos meghatározása).

A rendszer főbb elemei:

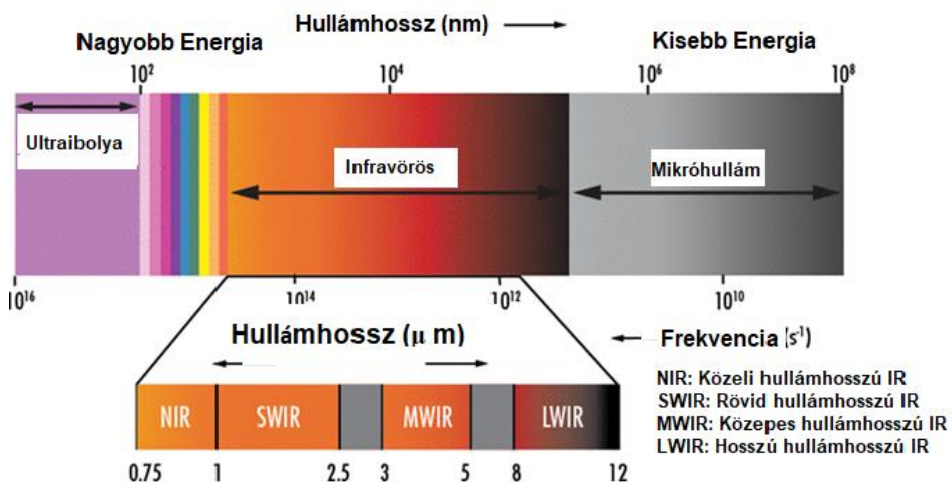
- jelfeldolgozó egység;
- vezérlő- és kijelzőegység (CDU: Control Display Unit) - az érkező rakéta irányának hang és vizuális megjelenítése;
- hat antenna a repülőgép külső borításán.



11. számú ábra. Az IAI ELM-2160 típusú minden időjárás körülmények között hatékony rakéta közeledésre figyelmeztető impulzus-Doppler elven működő rendszere (forrás: <https://www.iai.co.il/>)

### b) Elektro-optikai (EO) érzékelés

Az elektro-optikai vagy EO rendszerek az elektronika és az optika kombinációját használják az optikai spektrum sugárzásának előállítására, detektálására és mérésére. Az optikai spektrum az elektromágneses spektrum azon része, amelynek hullámhossza körülbelül 0,01-1.000 mikrométer, s magába foglalja az infravörös sugárzást, a látható fényt és az ultraibolya sugárzást. Az elektro-optikai érzékelés spektrumtartományát a 12. ábra szemlélteti.



12. számú ábra. Az elektromágneses spektrum (forrás: wikipedia)

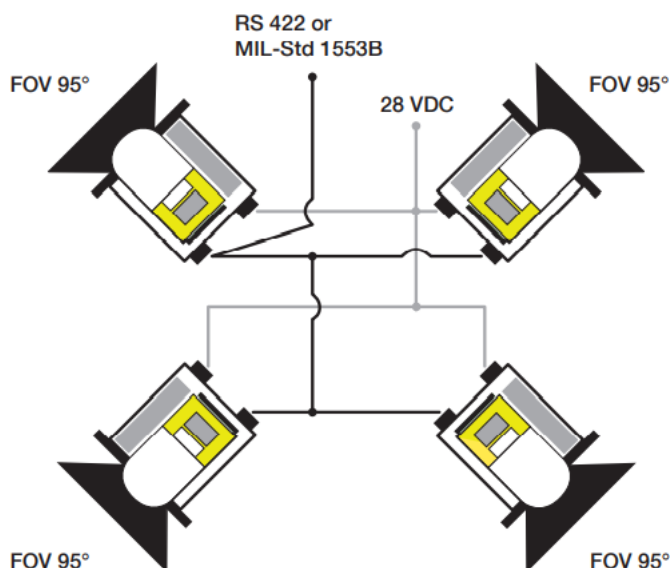
Napjainkban a helikopterekre legnagyobb veszélyt jelentő MAN-PAD-ek felderítésére elsősorban elektro-optikai szenzorokat használnak. Ezek érzékelik a rakétahajtóműből kiáramló gázok ultraibolya és infravörös sugárzását, melyek a legfontosabb jellemzői a kilőtt rakétának. Mivel a rakéták felderítése a hajtóművek működésekor kiáramló gázok paramétereinek a mérésén alapul (infravörös, ultraibolya kisugárzás, elektronsűrűség, füst, gőz), ezért az észlelés vagy követés lehetőségének minimalizálása érdekében a rakétatervezők legfontosabb törekvése a gázokat jellemző paraméterek értékeinek csökkentése. A rakétahajtóműből kiáramló gázok hőmérséklete a felderítést befolyásoló egyik alapvető paraméter. Ez csökkenthető, ha alacsonyabb égési hőmérsékletű hajtóanyag-kombinációt vagy keverékarányt használnak, de ez jellemzően alacsonyabb hajtómű-teljesítménnyel jár együtt. A füst csökkentésének másik lehetséges módja, hogy csökkentett füst-tartalmú vagy minimális füsttel égő szilárd hajtóanyagot alkalmaznak.

### ***c) Az ultraibolya hullámhossz-tartományban működő MWS-ek***

A repülőgépek korábbi nemzedékein jellemzően az ultraibolya hullámhossz-tartományban működő rakéta indítására figyelmeztető érzékelőket alkalmaztak. Az érzékelők észlelési hatótávolsága elsősorban a rövid hatótávolságú, vállról indítható, föld-levegő rakéták felderítésére volt elegendő, melyek indítási hatótávolsága általában 3-5 km volt. A korábbi generációs rakéták esetében ezt a teljesítményt olyan hajtóművel érték el, melynek a kiáramló gázai erős fényt bocsájtottak ki az égés folyamán. Az UV szenzor a rakéta füstjét érzékelte a 0,2–0,3  $\mu\text{m}$  tartományban. Mivel minimális a háttérzavar, ezért alacsonyabb a jelfeldolgozás iránti igény, s ezáltal csökken a rendszer bonyolultsága. Nincs szükség külön hűtésre, a technológia jól kiforrott, s így alacsonyabb a rendszer költsége is.

Hátránya viszont, hogy nem érzékeli a rakéta kiégett üzemanyagát, detektálási tartománya az ózoncsökkentés miatt korlátozott, s érzékeny az ember által okozott UV-zavarra. Sajátos követelmény a rendszerrel szemben egy éles levágású szűrő alkalmazása 0,29  $\mu\text{m}$ -es tartományban. Ugyancsak negatívan befolyásolja alkalmazási hatékonyságukat, hogy a modern rakéták fejlesztésénél új hajtóanyagokat használnak, amelyek alacsony fényintenzitással égnek. Az ilyen jeleket az ultraibolya sugárzás mérésén alapuló érzékelők sokkal rövidebb intervallumban észlelik, amely kisebb, a beavatkozásra rendelkezésre álló reakcióidőt is jelent. A hátrányok ellenére napjainkban is folyik UV alapú MWS-ek fejlesztése és a repülőgépek fedélzetére történő beépítése.

A piacon több gyártó rendszere is elérhető, melyek közül a Hensoldt MILDS AN/AAR-60 MWS az egyik legmodernebb, mely egy passzív, a sugárzási jel észlelésére optimalizált valódi képérzékelő eszköz az UV spektrális sávban. Nagy térbeli felbontása az időbeli jelfeldolgozással kombinálva igen magas felderítési arányt tesz lehetővé, miközben gyakorlatilag kiküszöböli a hamis riasztásokat. A MILDS négy-hat saját, kényszerhűtés nélküli érzékelőből áll, melyek nagy felbontást és nagy érzékenységet biztosítanak. Miután minden érzékelő teljesen feldolgozott jeleket szolgáltat, nincs szükség központi feldolgozó egységre. A MILDS AN/AAR-60<sup>19</sup> észleli a bejövő rakétafenyegetéseket, és minimális időkésleltetéssel jelzi az érkezési irányt is.



13. számú ábra. MILDS AN/AAR-60  
(forrás: <https://www.hensoldt.net/>)

#### **d) Az infravörös tartományban működő MAWS-ek**

Az infravörös érzékelők az UV alapú szenzorokkal szemben sokkal nagyobb hatótávolságon észlelik a célt, viszont azt egy összetett háttérben kell azonosítaniuk. Ez utóbbi sokkal nagyobb téves riasztási arányhoz vezet, amely korábban megakadályozta az infravörös érzékelők széleskörű alkalmazását a rakétaindításra figyelmeztető rendszerekben. Később a hamis riasztások számának csökkentését úgy

<sup>19</sup> [https://www.hensoldt.net/fileadmin/HENSOLDT\\_2019/Products/Optronics/Airborne\\_Optronics/0631\\_17\\_MILDS\\_AN\\_AAR-60\\_datasheet\\_E\\_intranet.pdf](https://www.hensoldt.net/fileadmin/HENSOLDT_2019/Products/Optronics/Airborne_Optronics/0631_17_MILDS_AN_AAR-60_datasheet_E_intranet.pdf)

oldották meg, hogy szétválasztották a rakétahajtómű által kibocsájtott gázok és a háttér spektrumait, amely azon környezeti zavarások kizárására optimalizált, melyek nem jelentenek fenyegetést. A két különböző hullámhosszúságú sáv körültekintő szétválasztásával maximálhatóvá vált a rakétagázok és a háttér közötti kontraszt. A két sáv kombinációja a középhullámhosszú infravörös tartomány (MWIR: Midwave Infra Red 3-5  $\mu\text{m}$ -es sáv) mechanikus szkennelésével vagy FPA-val (Focal Plane Array<sup>20</sup>) történik, amely nagyobb észlelési tartományt eredményez, s ez a rakéta-hajtóanyagok széles skálájára igaz. Ehhez viszont több színes detektor használatára, nagy számítási teljesítményre van szükség, amely jelentős költségnövelő tényező. További előnye, hogy nem csak a rakétahajtóműből kiáramló gázokat érzékeli, hanem a rakéta hajtóművének forró alkatrészeit is, beleértve a kiegészítő üzemanyag-részecskéket is. Ezen kívül alacsonyabb a légkörtől származó csillapítása, és képes a célokat nagy szögek szerint is elkülöníteni.

Tovább bonyolítják az IR alapú rendszert az optikai, az érzékenységi és a rendkívül magas pixelsebességi követelmények, amelyek nagy sebességű számítástechnikai és hűtőrendszerek használatát követelik meg, amelyek negatívan befolyásolják a költségeket és a megbízhatóságot. Azonban mindez végső soron azt jelenti, hogy a rakétát nagyobb távolságon képes a figyelmeztetőrendszer felderíteni, s következképpen több idő marad az ellentevékenységre, illetve a repülőgépezető részére a kitérő manőver végrehajtására.

Az UV alapú szenzorokhoz hasonlóan az ipar nagy típusválasztékban gyárt IR alapon működő MAWS-eket. A rendszer általános felépítésének megismerése érdekében nézzük meg a Leonardo cég MAIR<sup>21</sup> (Multiple Aperture InfraRed) rendszerét, mely több infravörös szenzorral képes lefedni a repülőgép körüli 360°-os teret. A MAIR azonnali figyelmeztetést és magas észlelési valószínűséget, továbbá nagyon alacsony hamis riasztási arányt biztosít egy erősen rendezetlen környezetben. Az IR technológia lehetővé teszi a fenyegetések észlelését már a nagyon korai szakaszban, így hosszabb időtartamot biztosít az ellentevékenységre. A MAIR lehetővé teszi a rakéta pályájának követését annak minden szakaszában, és a korai rakétaindítási figyelmeztetés mellett videófunkciókat is nyújt a teljes körkörös helyzetudatosság érdekében.

---

<sup>20</sup> Az FPA leírása a II. részben található

<sup>21</sup> Leonard Electronics Division MAIR Multiple Aperture Infrared Missile Warning System TECHNICAL SPECIFICATIONS 2019 prospektus alapján



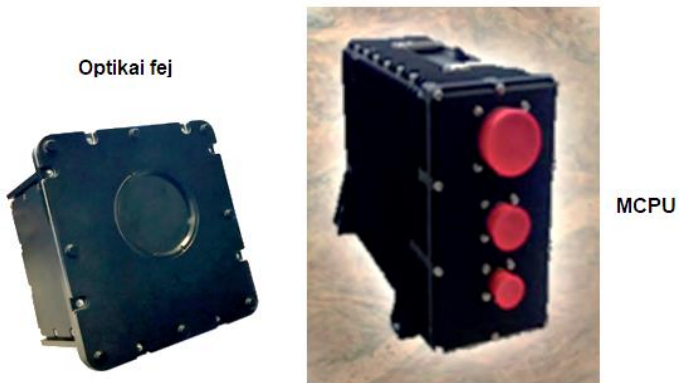
A MAIR egy interfészen keresztül kapcsolódik az ellentevékenységrendszerekhez (DIRCM, infracsapdák). A MAIR bármilyen platformhoz adaptálható rendszer, és legalább 5 összekapcsolt optikai fejből áll a helikopter körüli 360°-os azimut és 270°-os magassági lefedés érdekében. Egy további 6. optikai fej teszi teljessé a komplett gömblefedést. Alapkonfigurációjában az összes jelfeldolgozás és a kommunikáció a fejek jelfeldolgozó elektronikai rendszerén fut. Fejlettebb kialakításban a MAIR Központi Jelfeldolgozó Egysége (MCPU: MAIR Central Processing Unit) látja el a továbbfejlesztett videófunkciókhoz, az adatok külső érzékelőkkel történő egyesítéséhez és a teljes küldetés rögzítéséhez szükséges képességet. A nappali-éjszakai körkörös látás egyidejűleg és függetlenül biztosítható a repülőgépfülke kijelzőjén és a repülőgépvezető sisakján is. A rendszer nyitott architektúrája lehetővé teszi a technológiai trendnek megfelelő jövőbeli fejlesztést.

### ***Főbb jellemzők:***

- Rakétariasztás:  
A MAIR riasztás teljesen passzívan működik a termikus IR sávban. Gyors frissítési idejének és fejlett hamis riasztási rendszerének köszönhetően nagy valószínűséggel biztosítja a rakétaindítás korai észlelését. Az infravörös kép felhasználásával folyamatosan képes a közeledő rakéta útvonalának frissítésére.
- Nappali és éjszakai körkörös látás:  
Minden optikai fej videókimenettel rendelkezik, melyektől az IR kép a pilóták sisakkijelzőire vagy a pilótafülke kijelzőire van vezetve, hogy a személyzet rendelkezzen a műveleti helyzetről szóló információkkal, s így megfelelő harcászati helyzet tudattal.

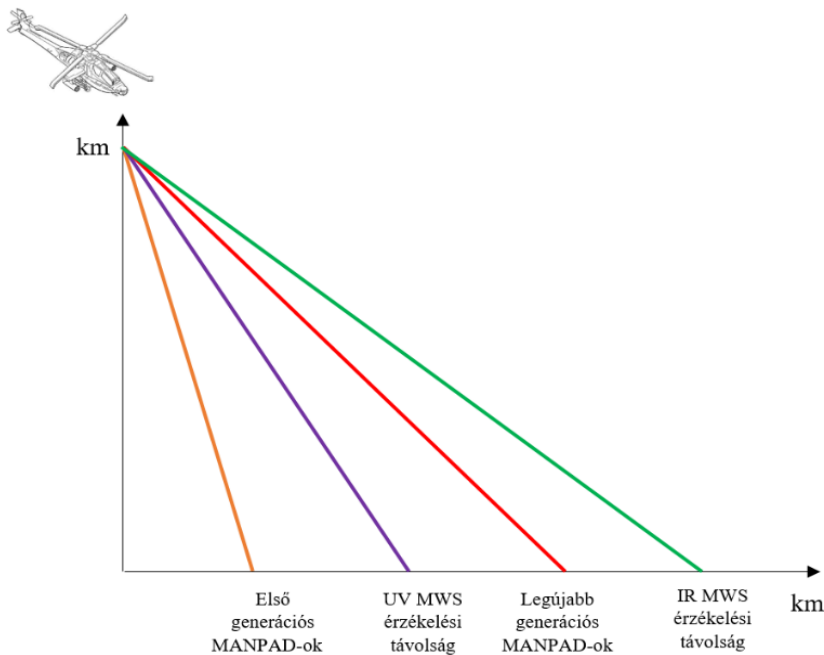
### ***Technikai paramétereik:***

- hullámsáv: IR tartomány;
- térbeli lefedettség oldal- és helyszögben (5 fejjel): 360°x270°;
- térbeli lefedettség oldal- és helyszögben (6 fejjel): 360°x360°;
- méret: <120 mm x108 mm x107 mm;
- tömeg: <2 kg/fej;
- működési hőmérséklet: -40 °C-tól +71 °C;
- MTBF (Mean Time Between Failures - meghibásodások közt átlagosan eltelt idő): 10 000 repült óra (per fej);
- adatbusz: MIL-STD-1553-B, G-Ethernet.



14. számú ábra. A Leonardo cég MAIR berendezése  
(forrás: <https://www.leonardocompany.com/>)

Az előzőekben ismertetésre kerültek az UV és IR rendszerek előnyei, hátrányai, azonban érdemes összehasonlítani az alkalmazási hatékonyságukat.



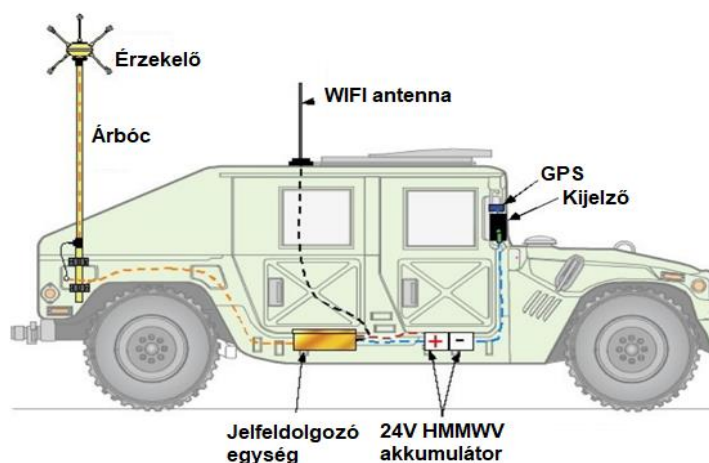
15.számú ábra. Az UV és IR elven működő MWS hatékonyságának összehasonlítása

Az ábra alapján megállapítható, hogy az új generációs MANPAD-ek ellen az UV érzékelés alapján működő MWS-ek nem kellően hatékonyak.

### 3.d.1. Az ellenséges lövedékeket vagy rakétákat jelző érzékelők

A katonai helikoptereknek nagyon sokrétű elektronikus ellenintézkedési rendszerük van a föld-levegő rakéták felderítésére és az azok elleni védelemre, melyek megzavarják vagy megtévesztik az irányított rakéták célkeresőfejét. A teljes védelemhez azonban elengedhetetlen a kézfegyverek, a közvetlen irányzékú rakéták vagy az RPG típusú gránátok elleni védelem is. Erre a célra egyrészt mechanikai védelmet alkalmaznak (pl. a fülke páncélozása), másrészt egy új akusztikus érzékelésen alapuló személyzetet figyelmeztető rendszert, mely riasztja a helikopter személyzetét egy földről jövő támadás esetén. A rendszer működési elve, hogy érzékeli a nagy sebességgel mozgó lövedék vagy gránát sajátos akusztikus jelét, meghatározza a tüzelő személy helyzetét és figyelmezteti a pilótát a támadásra, s pontosan meghatározza annak eredetét.

Az akusztikus érzékelők elve nem új keletű, a kézfegyverek tüzének felderítésére már a 2000-es évek eleje óta alkalmazzák a földi eszközökön. Ennek egyik példája a BBN Technologies Boomerang lövészfelderítő rendszere, melyet tömegesen építettek fel az amerikai katonai járművekre, és kiterjedten alkalmazták azokat Irakban és Afganisztánban. A Boomerang kompakt mikrofonrendszerrel érzékeli a kézfegyverek tüzének szuperszonikus lökéshullámát, s azonnali információt szolgáltat az ellenséges lövész helyzetéről, továbbá akusztikus és vizuális jeleket ad a tűz irányáról (15. ábra).



16.számú ábra. A Boomerang rendszer elemeinek elhelyezése egy HMMWV járművön<sup>22</sup>

<sup>22</sup> Boomerang II Operator's Manual OM BM000 Revision C September 2005

Az ellenséges támadást érzékelő rendszer kifejlesztése a gyorsan mozgó helikopterekhez azonban nagyon összetett probléma. Harci alkalmazásuk során ezek a forgószárnyas repülőgépek jellemzően földközeli magasságon repülnek vagy kis magasságban függenek, ezért különösen hatékonyan támadhatók kézfegyverekkel, illetve gránátvetőkkel. A kézfegyverekből indított támadást a helikoptersárkány alsó felületére épített mikrofonokkal érzékelik (érezkelhetik), melyek a közelgő lövedékek lökeshullámát, és a nyomásváltozást elektromos jellé alakítják. Ezt az érzékelést azonban bonyolítja a helikopter hajtóművétől, a forgószárnylapátoktól és reduktoroktól származó zaj és rezgés. Ezért a forgószárnyas technika esetében a lövedékeket vagy rakétákat jelző rendszer úgy működik, hogy nem csak összegyűjti a környezet akusztikus adatait, hanem a feldolgozás során kiszűri azokból a helikopter berendezései által gerjesztett zajfrekvenciákat, valamint kiegészíti a mért adatokat a fedélzeten található egyéb rendszerektől (például az IR szenzoroktól) származó információkkal. A rendszer hangjelzéssel, illetve a helikopterfülke műszerfalán található kijelzőn megjelenített szimbólummal figyelmezteti a személyzetet a veszélyre. Ez utóbbi megmutatja a tüzet nyitó személyek elhelyezkedését is. Maga az akusztikus rendszer könnyű, tömege kevesebb, mint 6 kg.

### **e) Ellentevékenység**

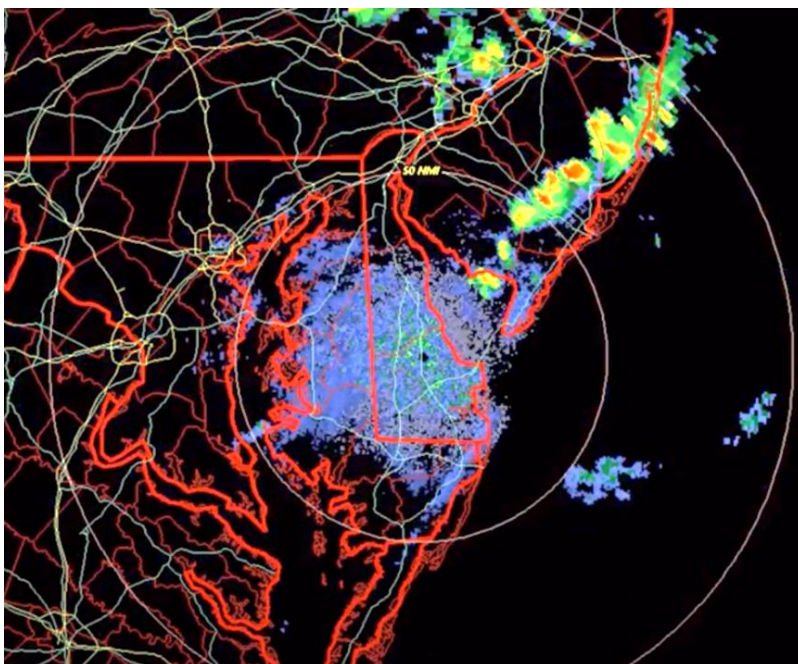
#### **3.e.1. RF ellentevékenység**

Az aktív RF elektronikus ellenintézkedések története megegyezik az EW történetével, és az alkalmazott eljárások száma mára már meghaladja a 300-at. Mivel a helikopter tömeg- és teljesítménykorlátjai általában nem teszik lehetővé, hogy a fedélzetén nagy teljesítményű RF zavarókat alkalmazzanak, ezért az RF ellentevékenység alapvető módszere a dipólkiszórás.

Maga a dipól apró szálakból áll, amelyek visszatükrözik a radarjeleket, s ha nagy mennyiségben kerülnek ki a repülőgépekből, felhőt képeznek, amely ideiglenesen elrejtja a repülőgépet a radarészlelés elől. A katonai dipóloknek korábban két fő típusa létezett: az alumíniumfólia és az alumíniummal bevont üvegszál. Az alumíniumfólia-típust már nem gyártják, bár még mindig használják.

A dipólok a repülőgépből kiszórva a levegőben minden irányban szétoszlanak, mialatt gömböt képeznek, amely elektronikus felhőként jelenik meg a radarképernyőkön (16. ábra). A helikoptert elfedi a felhő, amely összezavarja az ellenség radarját.

A gyártás során a dipólokat 0,75 és 5,0 cm közötti hosszúságra vágják. A kisebbek könnyebbek, s így viszonylag hosszú ideig maradnak a levegőben ahhoz, hogy megzavarják az ellenséges radart. Az alumíniumfólia-dipólok vastagsága 11 mikron, szélessége 150–200 mikron. Az üvegszál-dipólok átmérője általában 25,4 mikron, beleértve az alumíniumbevonatot is, amelynek vastagsága 3-15 mikron. Az új szuperfinom üvegszál-dipól átmérője viszont csak 17,8 mikron.



17.számú ábra. Radarkép a dipólok alkalmazása után. Jacksonville, Florida (forrás: <https://www.youtube.com/>)

Mindkét dipóltípus felületén tapadásgátló bevonat található, hogy megakadályozzák a szálak összetapadását vágáskor és minimalizálják az összecsomósodást kilövéskor. A bevonat a Neofat 18 típusú keverék 1%-os oldata. Az elemi dipólokat kötegelik, a kötegek mindegyikét egy vékony papírhüvelybe csomagolják.

A dipólokkal szemben több elvárás is megfogalmazható. A legfontosabb ezek közül a dipólhossz kiválasztása, mely megfelel az ellenséges radar hullámhosszának. Fontos követelmény még, hogy az adekvát felhő kialakítása érdekében a kilőtt dipólok gyorsan szétterüljenek, megfelelő sorrendben legyenek kiszórva, tartósan megmaradjanak a levegőben, s számuk megfeleljen a helikopter RCS-nek. Amennyiben a fedélzeten RF zavaróberendezés is van, akkor a dipólkilövést minden esetben össze kell hangolni az RF zavaróval. Mindezeket túl

az alkalmazás során még figyelembe kell venni a helikopter sebességét és a forgószárnyak leáramlását.

A dipólok feladata, hogy egyszerre zavarják meg a radart és növeljék a földi rendezetlenséget. A modern impulzus-Doppler radarok azonban felismerik a korábbi típusú dipólokat, mert azok - a valódi célpontokkal ellentétben - nem mutatnak megfelelő Doppler-eltolást a radarfrequenciában.

Az előzőeken túl létfontosságú kérdés a dipólkiszórás módja. A kiszórás meghatározásához szem előtt kell tartani a fő- és farokrotorlapátok légáramát és a helikopter lassú – akár nulla – sebességét. Problémát jelent ugyanakkor, ha a dipól bekerül az alacsony magasságban függeszkező helikopter forgórészébe, mert akkor a dipól megvilágítja a helikoptert a radarnak. Erre született az a megoldás, hogy a dipólokat hátul a sárkány faroktartójánál adagolják a farokrotor légáramába, melynek előnye a gyors szétszóródás és a Doppler jel megnyúlása a dipólszálak légáramban történő heves mozgása miatt.

A dipólok kiszórására alkalmazott módszerek az évek során sokat fejlődtek, kezdve a repülőgép ablakaiból történő egyszerű kidobástól a rugós vagy pneumatikus berendezésekig. Jelenleg erre elsősorban pirotechnikai tölteteket használnak. A pirotechnikai kilövés forró gázokat használ, melyeket robbanó impulzuskazetta generál. A piropatronoknak biztosítaniuk kell, hogy a dipólok 98 százaléka a kilövést követően sértetlen állapotban maradjon 95 százalékos megbízhatóság mellett, továbbá meg kell őrizniük alkalmazhatóságukat a környezeti feltételek – tárolás, szállítás és üzemeltetés során előforduló – változásakor. A 18. ábrán a Tracor M130 berendezés kialakítása és elhelyezése látható.

Az Egyesült Államokban az Esterline Defense Group az egyetlen minősített dipólgyártó vállalat, melynek észak-karolinai gyára a világ legnagyobb, teljesen integrált üzege, amely magába foglalja a nyers üveg rostálását és fémezését, a dipólusok kívánt frekvenciára való vágását és betöltését, valamint a késztermék csomagolását. Az Esterline közel 500 000 kg dipólt állít elő évente, s több mint kétmillió dipólt tölt be a kazettákba. Termékei nagy megbízhatóságot, többszörös széles-sávú frekvenciavédelmet, kiváló működési radarkeresztmetszetet és gyors szétoszlást biztosítanak.



18. számú ábra. Tracor M130 dipól kiszóróberendezés az AH-64 Apache helikopter farokrészén  
(forrás: <https://b-domke.de/AviationImages/Apache/3936.html>)



19. számú ábra. A dipólok kiszórása a helikopterből  
(forrás: <http://www.lacroix-defense.com/>)

### **3.e.2. EO ellentevékenység**

#### **3.e.2.1. Az infracsapdák**

Az IR-fenyegetés közel 50 éve létezik, kezdetben a levegő-levegő rakétákat fejlesztették ki, majd az 50-es évek végén, a 60-as évek elején az amerikai Redeye megjelenésével megkezdődött a MANPAD-korszak, mely fegyverrendszer még napjainkban is a kis magasságon repülő helikopterekre és a fel- és leszálló repülőgépekre a legnagyobb fenyegetést jelenti. Az ellenük való védelem céljából kezdték el fejleszteni az 50-es években az infracsapdákat, melyek megzavarják a rakéták célkeresőfejét, s így megvédik a repülőgépeket ezen támadó eszközöktől. Jelenleg az infracsapdáknak két alaptípusa létezik, a pirotechnikai és a pirofor<sup>23</sup>.

Mint arról korábban szó volt, az első generációs rakéták legkorábbi modelljei 2 000–3 000 m körüli magasságokban, a 4 000 m-es ferdetávolságon voltak képesek a repülő célokat támadni. Gyakran pontatlanok és nagyon érzékenyek voltak az alapvető ellenintézkedésekre. Csak akkor voltak hatékonyak, ha a célrepülőgép mögül indították őket, mivel a rakéta IR keresőfeje elsősorban a hajtóműből kiáramló gázokat és kisebb mértékben a repülő sárkányát tudta azonosítani és követni. Így az első generációs infravörös önirányítású rakéták elleni védelem alapvető eljárása egy másik, intenzívebb hőforrás aktiválása volt, melynek eszközei a pirotechnikai infracsapdák lettek.

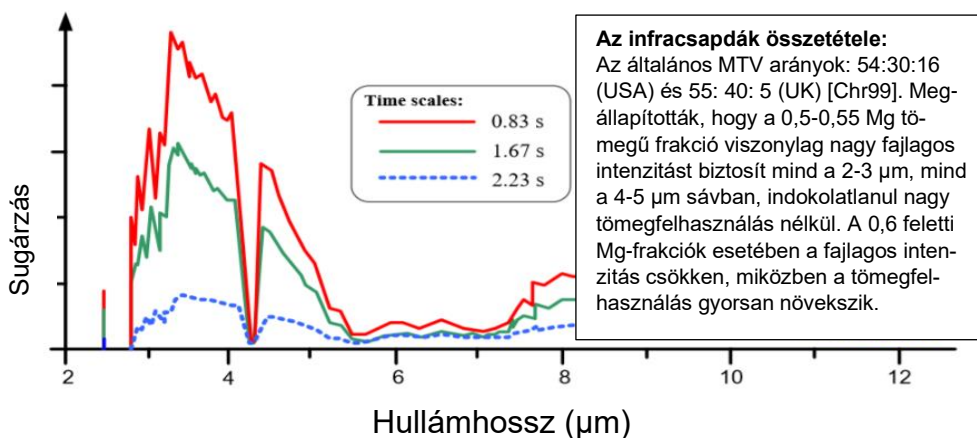
Ezek a kilövést követően meggyulladnak, jól látható fehér fényt bocsátanak ki és füstöt fejlesztenek, s így 5-10 másodpercig nagy mennyiségű infravörös energiát termelnek. Ez az energia lényegében állandó spektrumú, s azt csak a légköri abszorpció csillapítja. A pirotechnikai infracsapdák első generációja a magnézium, politetrafluor-etilén (PTFE) és VITON® szilárd pirotechnikai összetételéből készült MTV-infracsapda volt. Az MTV-infracsapdák a kilövést követően meggyulladtak, rövid ideig 2000 Celsius fokon égtek, mely hőmérséklet jóval magasabb volt, mint a repülőgép hajtóművéből kiáramló gázok hőmérséklete (800-900 °C).

A 20. ábra egy MTV-infracsapda spektrális és időbeli viselkedését mutatja.

---

<sup>23</sup> A „pirofor” szó azt jelenti, hogy finom eloszlású fém vagy szerves por oxigénnel érintkezve közönséges hőmérsékleten is felizzik a gyors oxidáció miatt. (Wikipédiából)





20. számú ábra. Az infravörös energia kisugárzásának változása az idő függvényében egy statikus testben. Három másodperc alatt a láng csaknem kialszik<sup>24</sup>

Az MTV-eket eredetileg az első és második generációs passzív IR-rakéták megzavarására használták. Ezeket az infracsapdákat úgy tervezték, hogy egy olyan nagy IR lenyomatot állítsanak elő, mely meghaladja a helikopter saját hőlenyomatát, s így a kereső az infracsapdát fogja be a cél helyett. Mennyiségi értelemben a szándék egy magas értékű zavarás - cél arány biztosítása volt a keresőfej megtévesztése érdekében.

A szimulációk és a gyakorlat azt mutatta, hogy ezen infracsapdák alkalmazása az első generációs MANPAD-típusok (például Strela-2/3) találati valószínűségét megközelítőleg a 0-ra csökkentette.

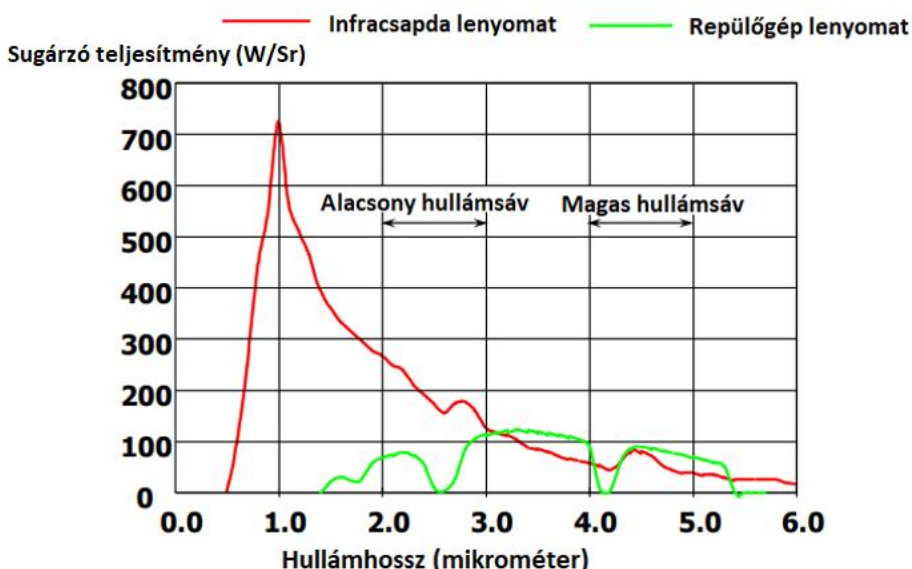
A fentiek alapján levonható legfontosabb következtetés, hogy csak a hő kibocsátás intenzitásának érzékelése nem elegendő a MANPAD-ek hatékony alkalmazásához, ezért keresőfejeknél számos olyan megoldást alkalmaznak, melyek ellenállóvá teszi azokat a zavarással szemben. Ezek tartománya a fej hűtésétől a bonyolult elektromos áramkörökig terjed, melyek a különösen a magas hőmérsékletet, a hőmérséklet gyors emelkedési idejét és az infracsapdák szabadon eső pályáját zavarásként értékelik, s nem veszik figyelembe azokat a cél követésénél.

<sup>24</sup> Johnny Heikell ELECTRONIC WARFARE SELF-PROTECTION OF BATTLEFIELD HELICOPTERS: A HOLISTIC VIEW Helsinki University of Technology FINLAND Otamedia Oy Espoo 2005. 94. oldal

A második és harmadik generációs MANPAD-rendszerek, mint például a szovjet 9K38 Iгла (SA-18) vagy a kínai FN-6, képesek a célrepülőgépet mellső, hátsó és oldalsó légtérből is támadni, s általában jobban meg tudják különböztetni a célpontot az olyan egyszerű ellenintézkedéstől, mint a pirotechnikai infracsapdák és a háttérsugárzás. Az ezekben alkalmazott modern, kétszínű keresőfejek spektrális lenyomatuk alapján (azaz a különböző hullámsávokban mért relatív jelerősségekben vagy színekben) különböztetik meg a hagyományos infracsapdákat a repülőgépektől.

Mint arról korábban szó volt, egy tipikus MTV-fáklya 2000 °C-on ég, míg egy repülőgép-hajtómű gázsugarának hőmérséklete a 600-800 °C-os tartományban található. A keresőfej összehasonlítja e két sáv energiáit, és arra számít, hogy mindkét mérési sávban hasonló teljesítményszinteket fog érzékelni. Ha az egyik nem felel meg a meghatározott feltételeknek, akkor azt, ebben az esetben az infracsapdát, nem tekinti célnak.

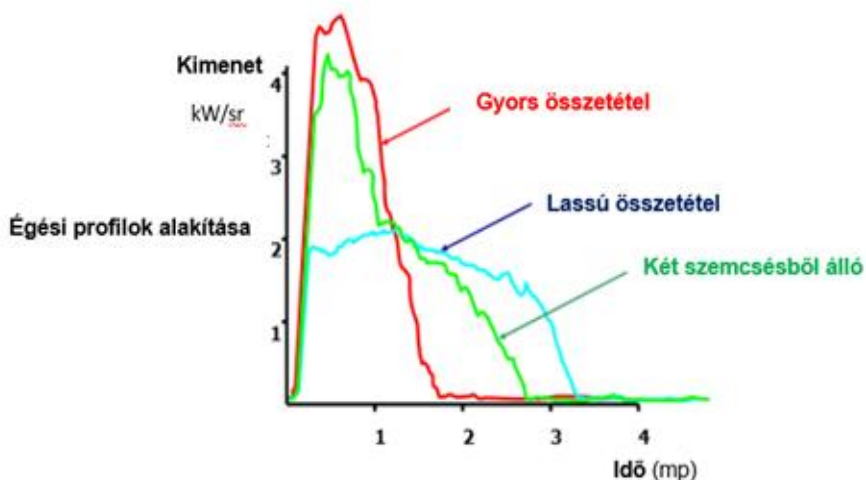
A különböző sávokon belüli sugárzó teljesítmény intenzitások arányai a hőmérsékletet jelzik (20. ábra).



21. számú ábra. A sugárzó teljesítmény változása a hullámhossz függvényében<sup>25</sup>

<sup>25</sup> Advanced Infra Red Countermeasure Solutions Paul Goddard AOC 2008 27 May 2008 Adelaide, Australia 12. oldal

A fenti probléma kompenzálására különböző égési sebességű infracsapdákat alkalmaznak (21. ábra).



22. számú ábra. Az égési profil szabályozása<sup>26</sup>

A 21. ábrából látható, hogy az infracsapda (a görbe alatti terület) által termelt teljes energia azonos, de az égési profilok nagyon különbözőek. A vörös vonal egy nagyon gyors emelkedést mutat, rövid égési idővel, mely egy tipikus profilja a nagy sebességű gázturbinás sugárhajtóművel felszerelt repülőgépeknek. Ezek esetében az infracsapda a repülőgép sebessége miatt gyorsan elválik a repülőgéptől, ezért a lehető leggyorsabban meg kell növelni az energia szintjét, mielőtt az kilép a rakéta látószögéből. A két színspektrumú keresőfejes rakéta egyaránt méri az energiaszintet mind az alacsony, mind a magas hullámsávban, és összehasonlítja a kapott energiákat. Az ilyen rakéta leküzdésére több energiára van szükség a magas frekvenciasávban, mint az alacsonyban, ehhez viszont alacsonyabb hőmérsékletű éghető anyagra van szükség. Az égési profil alakítása lehetővé teszi az égési energia manipulálását az égési idő alatt. A kétszínspektrumú keresőfejes rakéták ellen fejlesztették ki a piroforikus infracsapdákat, melyek sokkal kevésbé láthatók, mivel azokat könnyen aktiválható fóliából készítik, nagyon gyorsan oxidálódnak, hőt termelnek, majd a légkörben lehűlnek.

A piroforikus infracsapdáknak különböző típusú anyagokat használnak, melyek lehetnek szilárdak vagy folyékonyak. Elsősorban a nikkal

<sup>26</sup> Advanced Infra Red Countermeasure Solutions Paul Goddard AOC 2008 27 May 2008 Adelaide, Australia 10. oldal

vagy vas, illetve acél vékony fóliái vagy szitái, továbbá ezen anyagok ötvözetei, melyek erősen piroforossá tehetők. Ez az anyag a légárammal érintkezve meggyullad, s így alternatív infravörös forrást biztosít a rakéta keresőfeje számára. A piroforicitás a fém hőmérsékletét 1800 °C-ra vagy még magasabb hőmérsékletre képes emelni. Amikor egy ilyen infracsapdát kilőnek, a piroforos fóliák szétszórt tömegben kerülnek ki a légtérbe, blokkoló bevonatuk azonnal elpárolog, majd piroforos reakción mennek keresztül. Ezen típusú anyagok legnagyobb előnye, hogy rejtett jellegűek, nem tűzgömb alakúak, éjszaka csak gyenge rózsaszínű fényt sugároznak, nappal pedig szabad szemmel nem is láthatók. Következésképpen a rakéta alkalmazója nem tudja, hogy a rakéta keresőjének befogást jelző hangja a repülőgépre vagy az infracsapdára vonatkozik-e.

A különböző zavarás elleni védelemmel ellátott rakétafejek ellen különböző típusú infracsapdák alkalmazása szükséges. Ezért napjainkban az az általánosan alkalmazott eljárás, hogy a kilövő egységekbe különböző spektrális jellemzőkkel rendelkező infracsapdákat (kocktölköket) helyeznek be, amelyek mindegyike más-más hullámsávban bocsát ki sugárzó teljesítményt úgy, hogy a kombinált lenyomat meg egyezzen a repülőgéppel. Ezzel a módszerrel biztosítható a tömegesen elterjedt MANPAD-ek elleni megfelelő védelem.

A spektrális megkülönböztetésen túl a rakéták újabb nemzedékének célkereső fejei képesek megkülönböztetni a repülőgépet az infracsapdától, azok pályája (szabadon esnek a levegőben) és térbeli kiterjedése alapján is. Ezek megtévesztésére fejlesztették ki az aerodinamikai infracsapdákat. A zavarók repülőgépből történő előre kilövése biztosítja, hogy az infracsapda viszonylag lassabban válik el a légijárműtől, így megzavarja a rakéta saját ellentevékenységszámvetését, amely tipikusan a repülőgéptől hátrafelé irányuló leválasztási irányt keresi. Ez a megoldás általában csak helikoptereken vagy lassan mozgó szállítórepülőgépeken történő használatra alkalmas, mivel a légijármű sebességének növekedésével az aerodinamikai infracsapda hatása csökken. Ezen túlmenően előre néző adagolók felépítése a nagysebességű repülőkre egy sor problémát generál, többek között a gyors légáramhoz társuló rezgések miatt, amelyek a kiegészítés után az üres adagolónyalásban keletkeznek. A kifinomultabb infracsapdák tartalmaznak egy meghajtórendszert, mely az infracsapdát a repülőgép útjához hasonló, de az irányától eltérő repülési útvonalon mozgatja. A meghajtórendszert úgy tervezték, hogy megzavarja a rakétákat, amelyek megkülönböztethetők a szabadon eső infracsapdától és a meghajtással meghajtott tárgyat, például a repülőgépet. Ha a zavaró infracsapdák megfelelően

működnek, a rakéta befogja és követi az infracsapdát, és abbahagyja a repülőgép támadását.

A fejlett infracsapdák képesek ellensúlyozni a modern kétspektrumú keresőknek azt a sajátosságát, hogy spektrális lenyomatuk alapján (azaz a relatív jelerősségben különböző hullámsávokban vagy színekben) megkülönböztetik a helikoptereket a hagyományos infracsapdától, mivel infracsapdák együtteséből (koktéljából) állnak, amelyek mindegyike különböző hullámsávban éri el csúcsértékeiket, úgy, hogy kombinált lenyomatuk megegyezzen a repülőgéppel. Jelenleg kutatók folynak a koktélok egyetlen, új anyaggal való helyettesítésére, amelyek megfelelnek a cél spektrumlenyomatának.

A Chemring vállalat a világelső a repülőgépek infravörös keresőfejű rakéták elleni védelmében. Termékpalettájukon megtalálhatók az új generációs, a hagyományos infracsapdák, a különleges anyagú zavarók, valamint a dipólók is. A korszerű infracsapdák választéka kiterjed az elsőől a harmadik generációs MANPADS-ek elleni védelemig. A különleges zavarók speciális anyagból állnak, melyeket egy impulzusvezérlésű lőerővel az atmoszférába, ahol gyorsan reakcióba lépnek a levegő oxigénjével, és a helikopternek megfelelő infravörös lenyomatot képeznek. Ezek a típusú zavarók nem tartalmaznak pirotechnikát.



23.számú ábra. Az F-22 Raptor infracsapdákat szór a légtérbe (forrás: <https://www.chemring.co.uk/media/multimedia-library>)

A repülőgépek fedélzetén az infracsapdákat a dipólokkal együtt egy több patron elhelyezésére alkalmas házból álló kiszóróberendezésben

tárolják, melyekből mechanikusan vagy pirotechnikai úton lövik ki a zavarókat. A kiszóróberendezés része a repülőgép ellentevékenységi rendszerének, s integrálva van a repülőgép radarbesugárzásra, rakétaindításra figyelmeztető vevőivel és más, az elektronikus hadviseléshez tartozó érzékelőkkel. Általában egy központi vezérlőegységből, egy, a fülkében elhelyezett kezelőegységből és magából a kiszóróberendezésből áll. Amikor a repülőgép érzékelői fenyegetést észlelnek, az ellenintézkedést vezérlő rendszer automatikusan elindítja a rádiófrekvenciás és az infravörös ellenintézkedéseket az érkező rakéták megtévesztésére.


















24.számú ábra. A TERMA korszerű elektronikai ellentevékenységszisztere a kiszóróberendezéssel (forrás: www.terma.com)

Az infracsapdák a folyamatos fejlesztés ellenére jelenleg nem biztosítanak teljeskörű védelmet a korszerű negyedik, ötödik generációs MANPAD-ek ellen. A 3. táblázat az alkalmazhatóságuk hatékonyságát szemlélteti.

AZ IFRACSPADÁK ALKALMAZHATÓSÁGA, HATÉKONYSÁGA

3. számú táblázat

A MAN-PAD típusa	A keresőfej célkeresési képessége	A MAN-PAD proliferációja	Ellentevékenység		
			Infra-csapda	DIRCM	NEL
1. generáció	Hátso légtérből, nincs IR zavarvédetség	Nagyon széleskörű			

<b>2. generáció</b>	Minden irányból korlátozott IR zavarvédetség	Nagyon széleskörű			
<b>3. generáció</b>	Minden irányból IR zavarvédetség	Széleskörű			
<b>4. generáció</b>	FPA-vall, minden irányból zavarvédetséggel, képalakító keresőfejjel	Elvértve			
<b>5. generáció</b>	Minden irányból képalakító	Nincs			
<b>Közvetlen irányzású</b>	Nincs	Korlátozott			

**Megjegyzés:**

Zöld: hatékony;

Sárga: lehetséges, hogy hatékony,

Narancssárga: korlátozott hatékonyság;

Piros: nem hatékony,

Kék: fejlesztés alatt, valószínűleg hatékony

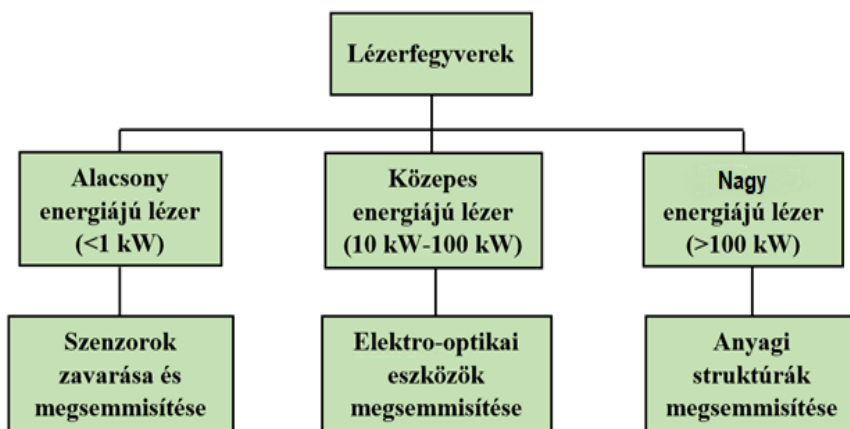
NEL: Nagy Energiájú Lézer (adaptálva: Ashkenázi 2013)

A táblázatból látható, hogy a korszerű negyedik és ötödik generációs rakéták ellen napjainkban kizárólag a DIRCM-ek és a Nagy Energiájú Lézerek nyújthatnak hathatós védelmet.

**3.e.2.2. A lézersugár alkalmazása a fedélzetén**

A lézertechnikát a katonai műveletekben olyan alkalmazásokhoz használják, mint a lézerfegyverek, a kommunikáció, a távérzékelés, az információ továbbítása, az aktív képalakítók, a megvilágítók stb. A lézertechnika különböző katonai műveletekhez használható: levegő-föld, föld-levegő, levegő-levegő, föld-föld, űr-tér, hajó-hajó, hajó-part, föld-műhold, műholdak közötti vagy tengeralattjáró rendszerek. A katonai műveletekhez használt lézerek típusai a környezettől és a felhasználási céltól függően változnak. A lézerek különféle felhasználási területekre történő besorolásához különböző paramétereket használnak: kimeneti teljesítmény, üzemi hullámhossz, a lézernyaláb keresztmetszete a célon, elérhető kibocsátási határérték és expozíciós időtartam. A hullámhossz kiválasztása a légköri vagy a víz alatti kapcsolatok átviteli ablakától függ. Míg a víz alatti összeköttetések a tiszta vízhez viszonyítva jó áteresztőképességgel rendelkeznek a kék-zöld

régióban, azaz 0,42–0,52  $\mu\text{m}$  tartományban, a szabad tér optikai összeköttetései az IR közelében és a látható spektrumban 0,75–1,6  $\mu\text{m}$  között működnek. 1 kW-nál nagyobb teljesítményű lézereket használnak nagy energiájú lézer (HEL: High Energy Laser) fegyvereként vagy az érzékelők megvakítására és szerkezeti károsodások okozására meghatározott célpontokban. A lézerfegyvereket energia/teljesítményszintjük alapján osztályozzák: magas, közepes vagy alacsony energiájú lézerekre, melyek csoportosítása és alkalmazási területük a 25. ábrán látható.



25. számú ábra. A lézerek csoportosítása és alkalmazási területük.<sup>27</sup>

### **a) Irányított infravörös ellenintézkedés (DIRCM)**

A DIRCM rendszerek azáltal zavarják meg a MANPADS-eket, hogy modulált lézere energiát sugároznak közvetlenül a fenyegetést jelentő rakéta keresőfejére, mely megzavarja a kereső követési és irányítási algoritmusait, s ezáltal a rakéta nem követi a célpontját. A rendszer tipikus értékei:<sup>28</sup>

- 0,5-6 W lézer kimenőteljesítmény a lézer típusától és hullámhosszától függően;
- 1,7 mrad lézernyaláb- divergencia;
- ismétlési arány>20kHz.

<sup>27</sup> Hemani Kaushal, Georges Kaddoum: Applications of Lasers for Tactical Military Operations alapján. Publisher: IEEE 22 September 2017

<sup>28</sup> Klass, P.J.: DIRCM Scores High In Live-Fire Tests, Aviation Week & Space Technology, November 15, 1999, 45-46 oldal



A paramétereiből következik, hogy a DIRCM lézere az alacsony energiakategóriába sorolható.

A DIRCM rendszer integrált része a helikopterek rakétaindításra, lézerbesugárzásra, ellenséges tűzre figyelmeztető ellenintézkedés-rendszerének. A rendszer lézer sugárnyalábot bocsát ki, s azt közvetlenül a rakéta keresőfejére irányítja, mely sugár erősebb céljelet generál, mint a megcélzott helikopter jele, ezáltal megtéveszti a rakéta irányítórendszerét, mely úgy érzékeli, hogy a célpont elmozdult és módosítja a saját repülési pályáját. A fej gyors megzavarása elengedhetetlen a kis magasságú repülések esetén, ahol a rakéta repülési ideje rendkívül rövid.

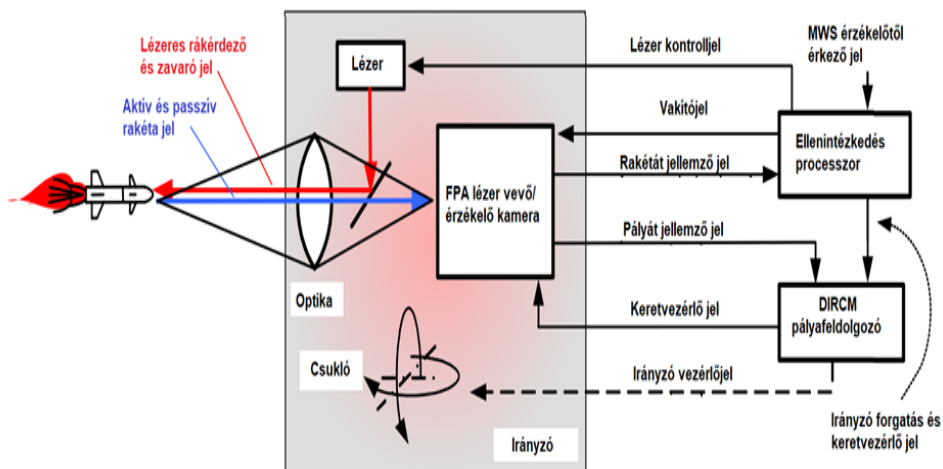
A DIRCM folyamatosan a rakétán tartja a lézersugarat, amíg az anynyira el nem fordul, hogy már nem jelent veszélyt a repülőgépre. A rendszer egyetlen, központilag telepített lézert használ, amely minden irányba képes elmozdulni. A rendszer működésének elve a 25. ábrán látható.

A működés folyamata: veszélyre figyelmeztető érzékelő video és digitális adatokat küld a processzornak, amely elemzi a bejövő rakéta, lézer vagy ellenséges tűz adatait. Ha a processzor fenyegetést észlel, értesíti a személyzetet, a vezérlő interfészegységről elindítja a lézert, s a zavaróenergiát a támadó rakétára irányítja. Legfőbb hátránya, hogy tornyokkal kell irányítani a sugáremissziót a rakéta felé, amely nagy pontosságot és integrált kommunikációt igényel az MWS-szel.



26.számú ábra. A DIRCM működésének fázisai

A DIRCM rendszer működésének vázlata a 27. ábrán látható.



27.számú ábra. A DIRCM működési vázlata<sup>29</sup>

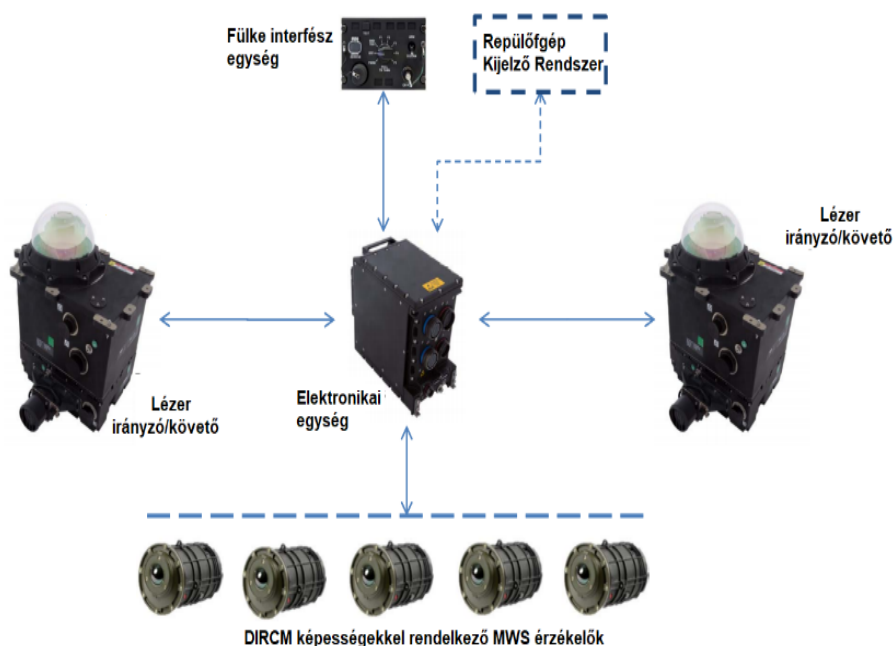
Az irányított DIRCM emissziójának elemzéséhez figyelembe kell venni a lézersugár főbb jellemzőit, például: nagy spektrális és térbeli sűrűség, nagy irányíthatóság, alacsony működési teljesítmény, alacsony sávszélességű sugár és impulzusos működés.

A DIRCM rendszereknek a következő alapvető paramétereknek kell megfelelniük, hogy a támadó rakétát képesek legyenek eredményesen megzavarni:

- egy tiszta lézer célvonal legyen a DIRCM-től a rakéta keresőfejéig;
- a rakéta kilövését követően minimális idő alatt el kell érni a cél támadásához szükséges effektív energiát;
- maximalizálni kell az energiát a célpontra. Ez a célplatform lenyomatával kombinálva biztosítja a fenyegetés legyőzéséhez szükséges hatékony zavarás/jel arányt (J/S);
- a zavarási kód hatékonysága: az alkalmazott zavaró modulációnak hatékonyan kell lennie a potenciális fenyegetést jelentő rakéták keresőfejeinek teljes típusváltozataival szemben. Létfontosságú, hogy a keresők bármely típusára gyakorolt hatás megkezdésének ideje minimális legyen.

<sup>29</sup> Brown, D.E. et al.: Closed-Loop Infrared Countermeasure System Using High Frame Rate Infrared Receiver, US Patent No. 6,369,885, April 2002

Egy DIRCM rendszer megvalósításának gyakorlati példája a 28. ábrán látható.



28. számú ábra. Miysis DIRCM rendszer (forrás: <https://www.leonardocompany.com/>)

### **b) Nagy Energiájú Lézer (HEL):**

A koncepció alapelve, hogy egy nagy energiájú lézert irányítanak a célra, mely megsemmisíti az adott eszköz szerkezetét. A fegyver építésében a legnagyobb kihívás egy olyan lézer létrehozása, amely elég nagy teljesítményt képes elérni ahhoz, hogy részben elpusztítsa vagy legyőzze a célt, mindeközben számos objektumot is képes legyen követni. A lézersugárnak hatékonyan kell terjednie turbulens légköri körülmények között is, mint például a por, a magas páratartalom, és pontosan el kell találnia a célpontot. Ugyanakkor képesnek kell lennie a cél, a hordozóeszköz mozgásának, továbbá a sugár időjárás vagy környezeti viszonyok miatti torzulásának kompenzálására. A jelenlegi projektek magukba foglalják a kereskedelemben kapható fiber lézerek, dióda pumpált szilárdtest lézerek, szabad elektronlézerek és a folyékony lézerek alkalmazását is.

A nagy energiájú helikopterfedélzeti lézerrendszer 2017-ben teljesítette első repülési tesztjét egy Apache AH-64 fedélzetén. A bemutató

során a teljesen integrált lézerrendszer sikeresen tevékenykedett a forgószárnyas repülőgép fedélzetén. Sokféle repülési üzemmódon, változó magasság és légsebesség mellett lőtt a kijelölt célra. A teszt meggyőző bizonyítékot szolgáltatott a nagy energiájú lézeres képességet támogató nagyfelbontású, többsávú célzószenzor teljesítményére és sugárterjedés- megvalósíthatóságára a helikopterek fedélzetén. Ezen túl a rendszer a várakozásoknak megfelelően teljesített, miközben számos célt követett, melyekre folyamatosan ráirányította az energiát. A HEL rendszerek jövőbeni kialakítását a vibráció, a por és a rotorleáramlásnak a HEL sugár irányítására és kormányzásra gyakorolt hatásairól összegyűjtött adatok alakítják.

Az igazi áttörés 2020-ban történt, amikor az Apache AH-64 helikopterhez csatlakoztatott konténerből a nagy energiájú lézert egy pilóta nélküli célpontra irányították, melyet sikeresen eltaláltak. Ez volt az első alkalom, amikor egy helikopter fedélzetére szerelt teljesen integrált lézerrendszer sikeresen leküzdötte a célt a legkülönbözőbb repülési feltételek, magasságok és sebességek mellett, ezzel bizonyítva az Apache helikopter által történő lézeres támadás megvalósíthatóságát. Az előzőekből következik, hogy a HEL alkalmazása harcihelikopterek fedélzetén még csak kezdeti stádiumban van, és feltehetően évek keltenek egy ilyen rendszer rendszeresítéséhez és tömeges alkalmazásához.



29. számú ábra. A Raytheon HEL függesztmény alkalmazása az AH-64 fedélzetén. (forrás: Raytheon)

### 3.e.2.3. *Infravörös (impulzus) zavarólámpa (Thermal jammer)*

A berendezés modulált infravörös sugárzást bocsájt ki, amellyel megzavarja a rakéta irányítórendszerét. Elsősorban az amplitúdó-modulált (AM) rakéták ellen fejlesztették ki (az USA-ban az AN/ALQ-144-et, a Szovjetunióban a Mi-24-re az L166V-t), bár korlátozottan a frekvencia-modulált (FM) rakéták ellen is használhatók. Ezek a zavarók az 1970-es évek óta léteznek, és hatékonyak voltak az 1. generációs amplitúdó-modulált MANPADS-ekkel szemben, amelyek a közeli IR-sávban működtek (1-2  $\mu\text{m}$ ). Maga a zavarás csak akkor volt eredményes, ha a fenyegetést jelentő rakéta modulációs tárcsájának forgási sebessége nagyjából ismert és a célpont az amplitúdó-modulált vezérlésének alapelve szerint előállított jel maximum amplitúdója által meghatározott irányban volt. Megfelelő frekvenciával és nagy teljesítménnyel történő jelbevittel el lehetett érni, hogy a zavaró és a célpont összegzett jele az infrafej számára akkor legyen maximális, amikor valójában a célponttól elkanyarodik a rakéta. Tökéletes zavarás esetén a rakéta rossz irányba korrigált, és egyszerűen kimanőverezte magát az infravörös érzékelő látószögéből, de még ha nem is sikerült eltalálni tökéletesen a frekvenciát, akkor is valamekkora hibát vitt be a vezérlésbe.



30. számú ábra. Egy ALQ-144 zavaró az OV-10 Bronco sárkányára építve. (forrás: <https://military.wikia.org/wiki/AN/ALQ-144>)

Ezen berendezések legnagyobb előnye, hogy míg az infracsapdák csak igen rövid ideig biztosítanak védelmet, addig a hőzavarók (thermal jammerek) folyamatosan üzemelnek. Mivel az amplitúdó- és

frekvencia-modulált vezérléssel bíró régebbi infravörös vezérlésű vállról indítható rakéták elterjedtsége mind a mai napig magas, ezért ezeket továbbra is használják annak ellenére, hogy a 3. generációs MANPADS-ek megjelenésével ez a típusú zavarás idejétmúlt lett. Ezek a rakéták közép-IR sávban (3–5  $\mu\text{m}$ ) működnek és fejlettebb modulációs technikákat alkalmaznak (például frekvencia-modulációt), s így a zavarása helyett a minden irányú IR-zavarás a rakéták célforrásává vált.

## 6. Figyelmeztető és ellenintézkedés fejlesztési trendek

A figyelmeztető rendszerek egyre nagyobb kihívásokkal néznek szembe, részben a fenyegetettségi technológiák fejlődése, részben pedig az elektromágneses spektrum különböző sávjaiban növekvő számú polgári sugárzó miatt.

Napjainkban az ellentevékenységi tendenciák a következő területekre koncentrálnak:

### 1. Rádiófrekvenciás (RF) zavarás:

- *dipól*: Ku és Ka sávokban hatékony, jobb tulajdonságokkal rendelkező dipólok fejlesztése. A dipólok helikopter RCS-hez hasonló alakban történő kilövése.
- *zavarás*: a monopulzus rendszerű radarok továbbra is kihívást jelentenek a zavarás szempontjából, a digitális rádiófrekvenciás memóriákra pedig egyre nagyobb szükség lesz a koherens jelfeldolgozású radarok zavarásához. A szilárdtest-adók és a Vivaldi antennarendszerek kihívást jelentenek a hagyományos haladóhullámú erősítőcsöves (TWT) adók számára;
- *kombinált*: a dipól hatékony megvilágítása megköveteli a dipól felhőre fókuszált zavarósugarat. A rugalmas antenasugár-vezérlés a konform antennarendszereknek kedvez.

### 2. Elektro-optikai (EO) zavarás:

- *infracsapdák*: a hagyományos infracsapda rendszerek folyamatosan tökélesednek, s a pirofóros infracsapdák általánossá váltak. A továbbfejlesztett infracsapda-kiszóró eljárásokat és a különböző típusú infracsapdák vegyes alkalmazását a korszerű fenyegetéseknek megfelelően kell

alkalmazni. Az infracsapdáknak támogatniuk kell a DIRCM rendszereket több típusú fenyegetés esetén;

- *DIRCM*: a jobb rakéta-keresőfejek és a HOJ (Home On Jam, amikor a rakéta keresőfeje passzív vevőként a zavaró sugárforrást követi, s ennek alapján dolgozza ki a kormány-parancsokat) alkalmazása gyors ellentevékenységet igényel. A jövőbeli DIRCM-eknek gyorsan meg kell zavarniuk, el kell pusztítaniuk a keresőfejet, amihez a jelenleginél nagyobb lézerteljesítményre lesz szükség. A PPLN (Periodically-Poled Lithium Niobate) nemlineáris kristályok lehetővé teszik a látható és 5  $\mu\text{m}$  közötti hullámhosszok hatékony átalakítását az elsődleges OPO (Optical Parametric Oscillator) több hullámhosszú lézer előállítására<sup>30</sup>. A kardánszerkezet alternatíváit is vizsgálják. Az agilisabb megoldások többféle fenyegetést is képesek legyőzni<sup>31</sup>.
- *lézer*: a kis teljesítményű lézereknél, melyek a tipikus lézerhullámhosszon magas impulzusismétlődési frekvenciával működnek, meg kell akadályozni a távolság mérését. A lézersugár zavarása, akár a rakéta kiáramló gázainak megvilágításával vagy az irányzó megvakításával, belátható időn belül nem kivitelezhető.

### 3. Multispektrális:

- *RF+EO*: A kombinált RF/IR dipolókra vonatkozó ötletek<sup>32</sup> figyelmet érdemlőek, de a gyakorlati problémák miatt eddig még nem oldódtak meg. Az ilyen típusú megoldások iránti igény azonban növekszik a multispektrális keresőfejek elterjedésével;
- *Akusztikus+EO*: a BAT (Brilliant Anti-Tank) akusztikus/EO szubmuníciója UAV-ről történő ledobásának sikeres tesztjei alapján levonható legfontosabb következtetés, hogy a felső légtérből jövő támadások ellen is szükséges megvédeni a helikoptert. Jelenleg erre nincs megvalósított eljárás.

---

<sup>30</sup> Myers, L.E, Bosenberg, W.R.: Periodically Poled Lithium Niobate and Quasi-PhaseMatched Optical Parametric Oscillators, IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 33, No. 10, October 1997, pp. 1663-1672

<sup>31</sup> Sepp, G., Protz, R.: Laser Beam Source for a Directional Infrared Countermeasures (DIRCM) Weapon System, US Patent No. 6,587,486 B1, July 1, 2003

<sup>32</sup> Woodward, E.D.: Combined Microwave and Infrared Chaff, US Patent No. 5,049,883, September 17, 1991

## **7. Következtetések a fenyegetésekről és az ellenintézkedésekről**

A helikopter fenyegetéseit az általános fenyegetési forgatókönyvtől függően két fő csoportra osztják. Az egyik csoport a csúcstechnológiával kapcsolatos fenyegetések, amelyek az úgynevezett „nagy” háború forgatókönyveihez kapcsolódnak. A másik csoportba az alacsony technológiájú veszélyeket sorolják, amelyek elsősorban az alacsony intenzitású konfliktusokkal és az aszimmetrikus tevékenységgel kapcsolatosak. Mindkét esetben a csúcstechnológiát megtestesítő veszély az IR irányítású MANPAD rakéták.

A mai elektronikus ellentevékenység- támogató alapkészletnek ennek következtében egy MWS-ből és egy programozható zavaróeszköz- kilövőből kell állnia, amelyet az MWS irányít. A 2010-es évek végén az ellentevékenység- csomagnak már tartalmaznia kellett egy DIRCM-et, amely képes megzavarni a képkövető keresőket. 2020-ra a DIRCM-nek képesnek kellett lennie a rakétakeresőfejek lézerekárosításának gyors kiváltására a HOJ veszélyek elkerülése érdekében.

A harcihelikopterek mellett a felfegyverzett helikopterek esetében is előnyös a nagy felbontású LWR alkalmazása, és így helymeghatározó érzékelőként működhetnek és irányíthatják a lefogó tüzet. A szállítóhelikopterek esetében az LWR bár kevésbé hasznos, de megjelölhet olyan területeket, amelyekben magas a lézerjelek koncentrációja, s ezért potenciálisan ellenségesek.

## **8. A Mi-24 típusú harcihelikopter önvédelmi rendszere**

A Mi-24 a XX. század 60-as, 70-es éveinek terméke, melyen az évtizedek során több korszerűsítést hajtottak végre. Ezek elsősorban a fedélzetet, a fegyverzetet, s részben a hajtóművet érintették. Tény, hogy a helikopter tervezésénél figyelembe vették a különböző típusú fenyegetéseket, és a kornak megfelelő passzív, valamint aktív védelmi rendszerekkel látták el.

Passzív védelmi eszközök közé tartoznak azok a berendezések, műszaki megoldások, melyek egy részét már a tervezés és a gyártás során beépítették a helikopterbe, más részét pedig akkor szerelik fel,



amikor a helikopter olyan feladatot hajt végre, mely során feltételezhető egy ellenséges támadás végrehajtása az eszköz ellen.

Ezek közé sorolhatók:

1. A fülke páncélozása.
2. A kettős hidraulikarendszer.
3. A tüzelőanyagtartályok védelme.
4. A hajtóműből kiáramló gázok összekeverése a környezeti levegővel.

A harci tapasztalatok igazolták a passzív eszközök hatékonyságát a kézfegyverekkel szemben. Ugyanakkor a hajtómű és a repülőgép-sárkány szerkezeti kialakításai javítják a helikopterek túlélhetőségét egy MANPADS találat esetén. A jelenlegi alkalmazott hajtóművek nem olyan érzékenyek egy katasztrofális meghibásodásra, s még az egyik hajtómű meghibásodásakor is a legtöbb Mi-24-es képes leszállni, amennyiben a személyzet erre megfelelően kiképzett.

A helikopter aktív védelmi rendszerei jellemzően a XX. századot képviselik, melyek közé tartoznak:

1. A radarbesugárzásra figyelmeztető rendszer.
2. Az infravörös lámpa.
3. Az infracsapda- és dipólkilövők.

Az önvédelmi rendszer elemei analóg alapra épültek, és nem rendszerszemléletben működnek. Nincs a helikopteren MWS, mely időben elindítaná a támadó rakéta megzavarását.

A hajtóműből kiáramló gázok keverése a környező levegővel és az IR lámpa alkalmazása a korszerű MANPADS-ek ellen hatástalan, melynek részletezését a korábbi fejezetek tartalmazzák.

Összefoglalva, a helikopter önvédelmi rendszere korszerűtlen, s nem szavatolja a személyzet védelmét és a kitűzött feladat végrehajtását sem egy „nagy” háborúban, sem egy aszimmetrikus fenyegetéssel terhelt környezetben.

A helikopter irányított fegyverzetéhez a STURM rakéták tartoznak, melyek üzemideje lejárt, cseréjük szükséges. Az orosz fél az ATAKA rakétát adaptálta a fedélzetre, mely megfelel a kor elvárásainak.

A csöves lőfegyverek: a 12,7 mm-es négycsövű, Gatling-rendszerű (forgócsövű) géppuska vagy a P változatnál az ikercsöves GS-30-2 típusú 30 mm gépágyú hatékony fegyver még napjainkban is.

A nem irányított fegyverzethez tartoznak: Sz-5 típusú 57 mm-es rakétákat tartalmazó konténer 4 darab UB-32-57-es blokkban, illetve Sz-8-as 80 mm-es nem irányított rakétákat tartalmazó 4 darab B-20 konténer, továbbá 2 darab Sz-24-es nem irányított rakéta elrettentő erővel rendelkezik, azonban a XXI. században már nem tekinthető korszerűnek.

A fentiek alapján a Mi-24-es nem rendelkezik a korunkban már elengedhetetlen precíziós fegyverekkel, így alkalmazása egy modern fegyveres konfliktusban nem kellően hatékony.

## Összefoglalás

Jelen publikáció részletesen elemezte a korszerű harcihelikopterek hatékony alkalmazását befolyásoló legfontosabb követelményeket. Ezek alapján egyértelműen megállapítható, hogy a magyar Mi-24-es flotta ezeknek nem felel meg, mivel a helikoptervezetőnek nincs valós idejű („real time”) információja a műveleti helyzetről, a helikopter önvédelmi és fegyverrendszerei pedig elavultak. Kérdés, hogy lehetséges-e a helikoptert úgy modernizálni, hogy a Mi-24-es napjainkban gyártott változatának, a Mi-35-ösnek megfelelő, a világ élvonalába tartozó helikopter legyen.

A válasz mérnöki szempontból valószínűleg igen, de mi kell ehhez? Digitalizálni kell a fedélzeti eszközöket és a rendszereket, adatkapcsolatot kell létrehozni közöttük például egy adatbusz (adatbuszok) beépítésével. Ki kell alakítani az „üvegfalú” személyzeti fülkét ( „glass cockpit”-et) mind a helikoptervezető, mind az operátor részére, és el kell helyezni mindazon kijelzőket és kezelőszerveket, melyek a harci helyzet tudatosságához és a fegyverrendszer kezeléséhez szükségesek.

A fedélzeti fegyvereket „nyugati” származású, precíziós fegyverekkel kell lecserélni, melyre több példa is van, elsősorban izraeli relációban. A helikopter önvédelmi rendszerét teljesen új alapokon kell áttervezni. Be kell építeni a cikkben részletesen bemutatott szenzorokat és rendszerszemlélettel össze kell hangolni azok működését. Be kell szerezni az önvédelmi rendszer hatékonyságát biztosító dipólokot és a modern infracsapdákat a lehetséges fenyegetés teljes spektrumára.

Végül, de nem utolsó sorban a teljes védelem biztosítása érdekében be kell építeni a fedélzetre egy DIRCM-et. Amennyiben ezeket a korszerűsítéseket végrehajtják, egy, a kornak megfelelő képességekkel rendelkező harcihelikopter állhatna rendszerben az MH-nál.

Az előzőek alapján a kérdésre az a válasz is adható, hogy kezdjük el a modernizációt, mely költsége valószínűleg meghaladja a helikopterek jelenlegi piaci értékét, azonban jóval olcsóbb, mint egy új harcihelikopter rendszerbeállítása. A probléma azonban ennél sokkal bonyolultabb. Szabad-e költeni ilyen nagyságú összeget egy közel 40 éves helikopterre? A hivatkozás, hogy a helikopter teljes üzemideje lejár jól hangzik, de mérnöki szempontból nem állja meg a helyét. Papíron lehet, hogy így van, de az orosz üzemeltetési filozófia szerint mindig egy adott üzemidő elérését követően állapítják meg a következő javításközi ciklust és hosszabbítják meg a teljes műszaki üzemidőt.

Tény, hogy a magyar Mi-24-ek rendszeresen nem repülték ki a javításközi üzemidejüket, és általában naptári üzemidő szerint került sor a nagyjavításukra. A naptári idő lejártá ugyanakkor nem mérvadó a helikopterek fizikai terhelése szempontjából. Mivel a helikopter a vadászrepülőgéptől eltérően nincs nagy ciklikus túlterhelésnek kitéve, egyedül a vibráció okozhat kifáradásos jelenséget, azonban olyan, amely a konstrukció élettartamát befolyásolná, jelenleg nem ismert. Vagyis a levonható következtetés az lehetne, hogy érdemes nekilátni a korszerűsítésnek, mert van még tartalék üzemidő.

Azonban a válasz mégsem ilyen egyszerű, mivel a folyamatos alkalmazhatóság szempontjából a helikopter néhány főbb alkatrésze nem javítható és beszerzése csak egyetlen kizárólagos forrásból, az Oroszországi Föderációból történhet. Megteheti-e egy NATO- ország, hogy egy potenciálisan szembenálló féltől szerzi be a szárazföldi csapatainak légi támogatását nyújtó fegyverrendszerének alkatrészeit?

A válasz nem kétséges, nem szabad vállalni ezt a kockázatot, és a javításközi üzemidejük lerepülését követően a helikoptereket ki kell vonni a rendszerből. Azonban addig is fel kell használni azokat a harcihelikoptereket a repülőszemélyzetek speciális kiképzésére, függetlenül attól, hogy lesz-e idővel megfelelő váltótípus.

Végezetül még egy gondolat. A kivonás előtt fel kell készülni a helikopterek értékesítésére. A jelenlegi korlátozott képességek ellenére is a világ számos országa tarthat igényt ezekre a helikopterekre, ezért

nem szabad megengedni, hogy a MiG-29-ek sorsára jussanak és értéküket veszítve várják a megsemmisítésüket.

## Irodalomjegyzék

1. Accetta, J.S., Shumaker, D.L. (eds.): The Infrared and Electro-Optical Systems
2. Ball, R.E.: The Fundamentals of Aircraft Combat Survivability Analysis and Design, 2nd edition, AIAA Education Series, 2003
3. Brown, D.E. et al.: Closed-Loop Infrared Countermeasure System Using High Frame Rate Infrared Receiver, US Patent No. 6,369,885, April 2002
4. Haditechnikai kerekasztal, Haditechnikai összefoglaló A légiharcászatról és a légvédelmi eszközökről (182-213 oldal)
5. Handbook, Vol. 7 (Countermeasure Systems), Environmental Research Institute of Michigan, SPIE Optical Engineering Press, 1993
6. Handcock, A., Howitt, R.: Benefits of Advanced Control Technology, Proceedings of presentations at the American Helicopter Society 56th Annual Forum, Virginia Beach, VA, 2nd – 4th May 2000, pp. 147-154
7. Johnny Heikell ELECTRONIC WARFARE SELF-PROTECTION OF BATTLEFIELD HELICOPTERS: A HOLISTIC VIEW Helsinki University of Technology FINLAND Otamedia Oy Espoo 2005
8. Kernstock, N.C.: Slashing Through the Noise Barrier, Rotor & Wing, Aug. 1999, pp. 26-33
9. Klass, P.J.: DIRCM Scores High In Live-Fire Tests, Aviation Week & Space Technology, November 15, 1999
10. LEONARDO: Mysis DIRCM: the smallest, lightest multi-head DIRCM system available today
11. Lynch, D. jr.: Introduction to RF Stealth, SciTech Publishing Inc., 2004
12. MILITARY HANDBOOK AIRCRAFT SURVIVABILITY TERMS MIL-HDBK-2089 30 May 1997 Department of Defense USA  
Myers, L.E, Bosenberg, W.R.: Periodically Poled Lithium Niobate and Quasi-Phase Matched Optical Parametric Oscillators, IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 33, No. 10, October 1997, pp. 1663-1672
13. Misiurewicz, J., et al.: Analysis of Recorded Helicopter Echo, Proceedings of the IEE 97 Radar Conference, 14-16 October 1997, pp. 449-453 (IEE Publication No. 449)
14. Oeh, G.R.: ASPIS Integrated EW Suite for Helicopter Self Protection, Proceedings of the SMi Military Helicopters 98 -conference, London, March 24-26, 1998

15. Schmieder, D.E., Walker, G.W.: Camouflage, Suppression, and Screening Systems, Ch.
16. Schwind, G.: Infrared Countermeasures for Helicopter Applications, The Journal of Electronic Defense, May 1991, pp.61-64
17. Sean M. Zeigler, Alexander C. Hou, Jeffrey Martini, Daniel M. Norton, Brian Phillips, Michael Schwille, Aaron Strong, Nathan Vest: Acquisition and Use of MANPADS Against Commercial Aviation RAND Corporation 2019
18. Sepp, G., Protz, R.: Laser Beam Source for a Directional Infrared Countermeasures (DIRCM) Weapon System, US Patent No. 6,587,486 B1, July 1, 2003
19. Woodward, E.D.: Combined Microwave and Infrared Chaff, US Patent No. 5,049,883, September 17, 1991