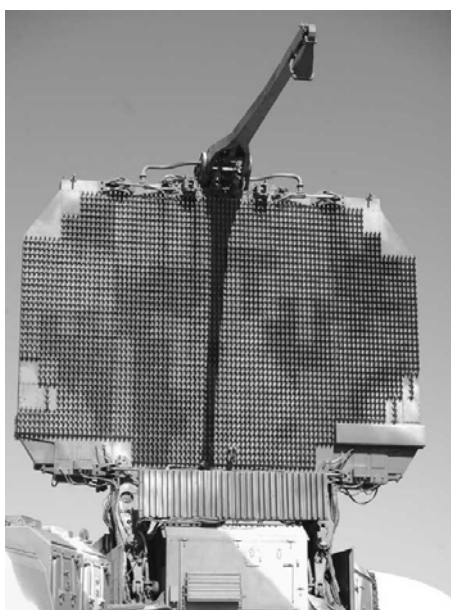


KORSZERŰ HARCÁSZATI REPÜLŐGÉP RÁDIOELEKTRONIKAI HARC (REH) RENDSZERE

Napjainkban a különböző fegyverrendszerek korlátozás nélküli elterjedésével lényegesen sokrétűbbé vált a harcászati repülőgépek megsemmisítésének lehetséges eszköztára, így fokozott követelmények merülnek fel a repülőgépek túlélőképességéhez nagyban hozzájáruló fedélzeti rádióelektronikai harc (REH) rendszerekkel szemben is. Ezen túlmenően, a repülőgép más rendszereivel integrált korszerű REH-rendszer nagyban hozzájárulhat az általános harcászati helyzetkép kialakításához, az ellenséges rádióelektronikai harcrend és harcérték felméréséhez, de a saját offenzív képességekhez is, különös tekintettel a légvédelem elnyomására és megsemmisítésére.



1. ábra Az Sz-300PMU-2 légvédelmi rakétarendszer fázisvezérelt antennával felszerelt felderítő radarja, a 64N6 (Big Bird) akár a proliferáció szimbóluma is lehetne

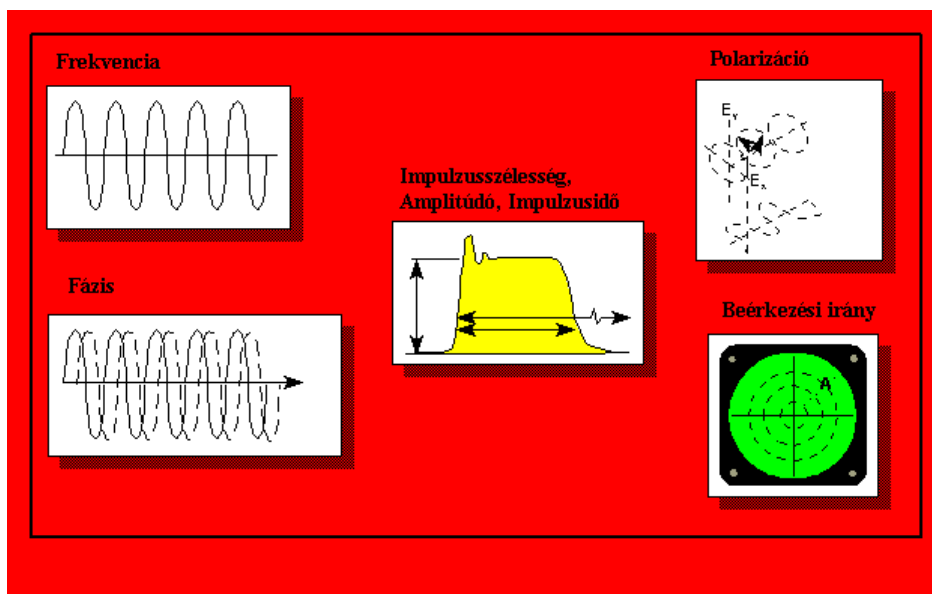
A FEDÉLZETI REH RENDSZER FELADATAI

Besugárzásjelzés, iránymérés

A korszerű harcászati repülőgép fedélzeti REH-rendszerének legalapvetőbb feladata a repülőgép környezetében lévő rádiólokációs rendszerek besugárzásának észlelése, és a besugárzás beérkezési irányának meghatározása. Ezek az információk mindenképpen szükségesek ahhoz, hogy a repülőgépvezető, vagy a REH rendszer más elemei ellentevékenységekbe kezdhessenek.

Azonosítás, korreláció

Az optimális ellentevékenységekhez, illetve az ellentevékenység módjának megválasztásához azonban szükséges a besugárzást végző adók osztályozása, felismerése is. Ennek megfelelően a korszerű REH-rendszernek képesnek kell lennie a vett jelek nagy pontosságú szortírozására és elemzésére is, valamint arra, hogy azokat a repülőgépre fenyegetést jelentő fegyverrendszerekkel összefüggésbe hozza – az ártalmatlan, ugyanakkor figyelemmegosztó besugárzások kiszűrése mellett.



2. ábra A beérkező elektromágneses jel információtartalma

Mérésre kerülnek a beérkezett jelek hordozott paraméterei (frekvencia, jelerősség, polarizáció, moduláció, impulzusok közti idő, impulzushossz, szubimpulzus-moduláció, stb.) míg más jellemzőiket ezekből számítják ki. Az így létrehozott információcsomagot összehasonlítják a fenyegetés-könyvtárban (adatbázis) tárolt adatokkal, majd megtörténik a besugárzást végző adó azonosítása és korrelációja a fenyegetést jelentő fegyverrendszerrel.

Helymeghatározás

Az iránymérési funkciónak a repülőgép más rendszereivel (navigációs rendszer), esetleg más repülőgépekkel együttműködésben lehetővé kell tennie a besugárzás forrásának passzív helymeghatározását, például háromszögelés módszerével. Egyrészt azért, mert a fenyegetés iránya mellett annak távolságáról biztosított információ tovább javítja az ellentevékenységi hatékonyságát. Másrészt azért, mert a helymeghatározás révén a REH-rendszer célfelderítő szenzorra léphet elő, melynek segítségével közvetlenül vagy közvetve aktív ellentevékenységi (csapásmérés) folytatható a besugárzást végző eszköz ellen.

Ellentevékenység

Miután a REH-rendszer erre hivatott elemei információt szolgáltatnak a fenyegetés tényéről, irányáról, válfajáról, a besugárzás forrásának helyéről, sor kerülhet az ellentevékenységre. A REH-rendszer irányinformációja adja a legfontosabb támpontot a legkézenfekvőbb ellentevékenység, az elkerülő manőver végrehajtására, melynek hatékonysága azonban már nem a rendszertől, hanem a repülőgép-vezetőtől illetve a gép repülési jellemzőitől függ. A korszerű REH-rendszernek viszont részét képezi az ellentevékenység két másik eszközcsoportja. Az egyik a különböző passzív eldobható eszközökből (töltetekből), radarvisszaverő csalikból, dipólokból tevődik össze, melyeket a szükséges frekvenciatartományokra optimalizáltak, hogy fals célokat generáljanak a fenyegetést jelentő rádiólokációs eszközök számára. A másik az aktív rádiófrekvenciás zavaró berendezéseket (adókat) foglalja magába, melyek különböző módokon álcázzák a repülőgép helyzetét, vagy hibás helymeghatározást eredményeznek tevékenységükkel. Az aktív zavarás ezen túl kombinálható az eldobható eszközökkel is, illetve léteznek vontatott csalik is. Úgy a passzív, mind az aktív, illetve kombinált ellentevékenység manuálisan működtethető, vagy egy előre meghatározott adatbázis alapján működik, melyben az egyes azonosított fenyegetésekhez ellentevékenységi technikákat rendelnek.

Objektív kontroll

A REH-rendszernek gondoskodnia kell a repülés során vett jelek, illetve azok paramétereinek rögzítéséről a beérkezési idő szerint. Hasonlóképpen rögzítenie kell a rendszer működésének folyamatát. Az első funkció biztosítja a fenyegetés-könyvtár (adatbázis) bővítéséhez, módosításához szükséges adatok jelentős részét, a másik pedig a rendszer – különös tekintettel az ellentevékenységre – működésének utólagos elemzését teszi lehetővé.

Kiképzés, gyakorlás

Bár a korszerű REH-rendszer értelemszerűen nagy automatizáltsággal rendelkezik, megfelelő alkalmazása továbbra is nagyban függ a repülőgép-vezetőtől. Ennek megfelelően a rendszernek rendelkeznie kell fenyegetés-imitációs funkcióval is, melyek lehetővé teszik a kiképzést használatára, illetve a megszerzett ismeretek fenntartását gyakorlás révén. Ez a funkció mellesleg a költséghatékonyság eszköze is egyben, hiszen számtalan rádiolokációs eszköz valós működését kiképzés és gyakorlás közben nem lehet biztosítani.

A FEDÉLZETI REH-RENDSZER FELÉPÍTÉSE, INTEGRÁCIÓJA

Felépítés, egységek

A fenti ismertetésből kitűnik, hogy milyen összetett feladatokat kell megoldania a korszerű fedélzeti REH-rendszernek. Mivel a harcászati repülőgép fedélzetén kevés hely áll rendelkezésre, a feladatokat csak kis méretű és tömegű, kompakt felépítésű berendezések végezhetik.



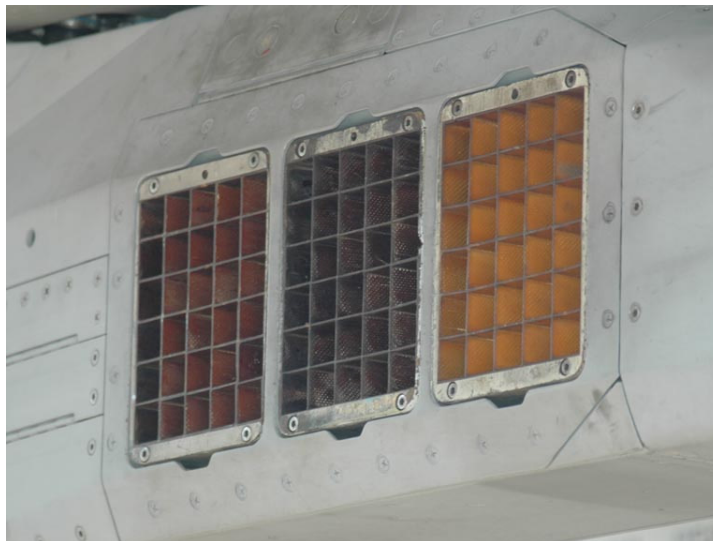
3. ábra A MiG-29 repülőgép L-006 besugárzásjelzőjének antennái a szárny törővégén

Az elektromágneses hullámok a sárkányszerkezet „exponált” részein (pl. szárnyvég), egymástól általában jól elkülönített vevőantennákon keresztül jutnak be a REH-rendszerbe. A korszerű rendszerek esetében inkább antenna-egységekről kell beszélni, melyek nemcsak antenna-funkciókat látnak el, hanem frekvencia-transzponálást (lekeverést), erősítést, szűrést is. Az így létrehozott középfrekvenciás, vagy videó (alapsávi) jelek kerülnek továbbításra a vevők felé, melyek általában már a repülőgép törzsében, a többi avionikai blokk között nyernek elhelyezést. A vétel általában megosztottan megy végbe: egyrészt egy szélessávú vevőben, másrészt egy keskenysávú vevőben – a megosztottság a rendszer reakcióidejét és a besugárzások elfogási valószínűségét növeli. Ez utóbbi nagy érzékenysége úgy érvényesül, hogy a keresését a fenyegetés-könyvtár (adatbázis), illetve a szélessávú vevő által meghatározott frekvencia-tartományokban végzi. A jelenlegi REH-rendszerek

vevői általában az E és a J sáv közti tartomány (2-18, illetve 20 GHz) lefedésére képesek, de ez igény szerint kiegészülhet az C/D sávval (0,5-2 GHz), illetve a K/L sávval (20-60 GHz) is. Az iránymérés a különböző antennaegységek által vett jelek amplitúdójának összehasonlításával, vagy interferenciamérő antennakomplexum révén történik. Az előbbi esetben az iránymérés pontossága 3-10 fok közötti, míg az utóbbinál 0,1-3 fok is lehet.



4. ábra Besugárzásjelző spirálantenna és antennaegység egy magyar Gripenen



5. ábra Zavarótöltet kivető kazetták egy F-16-os fegyverzet-felfüggesztő pilonjába építve

A jelfeldolgozás során a két vevő videoprocesszorai minden egyes jelet digitális formában leírnak, majd az egyesített impulzusprocesszorban információtartalmuk, így a beérkezési irány alapján korreláltatják az ugyanabból a forrásokból érkező jeleket – információcsomagokat képezve belőlük. Ennek megfelelően itt megy végbe az azonosítás első lépése is, mely a központi jelfeldolgozó egységben teljesedik ki azzal, hogy a fenyegetés-könyvtárban tárolt adatokkal, leírásokkal összevetik azokat. Az azonosított adatokat ugyanitt fegyverrendszerekkel asszociálják.

A feldolgozott adatok alapján sor kerül a fenyegetések indikációjára a repülőgép-vezető számára, aki ezek alapján dönthet az ellentevékenység mikéntjéről. Automatikus üzemmódban a központi jelfeldolgozó egység az aktuális fenyegetést jelentő, azonosított fegyverrendszerhez rendelt ellentevékenység-technika alkalmazását kezdeményezi. A pilótának ebben az esetben felülbírási lehetősége van.



6. ábra A REH-rendszer információinak kijelzésére szolgáló képernyő egy F-16-os pilótafülkéjében

A REH-rendszer ellentevékenységi alrendszerei a megtévesztő eszközöket (tölteteket) szóró kazettákból (javarészt passzív eszközök), illetve aktív zavaróadókából állnak. A központi processzor egység a korszerű repülőgépeken általános multiplex adatbusz (pl. 1553B) révén kommunikál a kazettákat vezérlő egységgel, mely általában a függesztményvezérlő egység részét képezi. A kazetták tulajdonképpen előre megírt kivetési programok végrehajtására kapnak parancsot. A programok meghatározható paraméterei között találjuk a késleltetési időt (mely a fenyegetés észlelése és az első kivetés között telik el), a sorozatban lévő töltetek kivetése közti időt, a sorozatban lévő töltetek számát, a programon belüli sorozatok közti időt, illetve a programon belüli sorozatok számát.

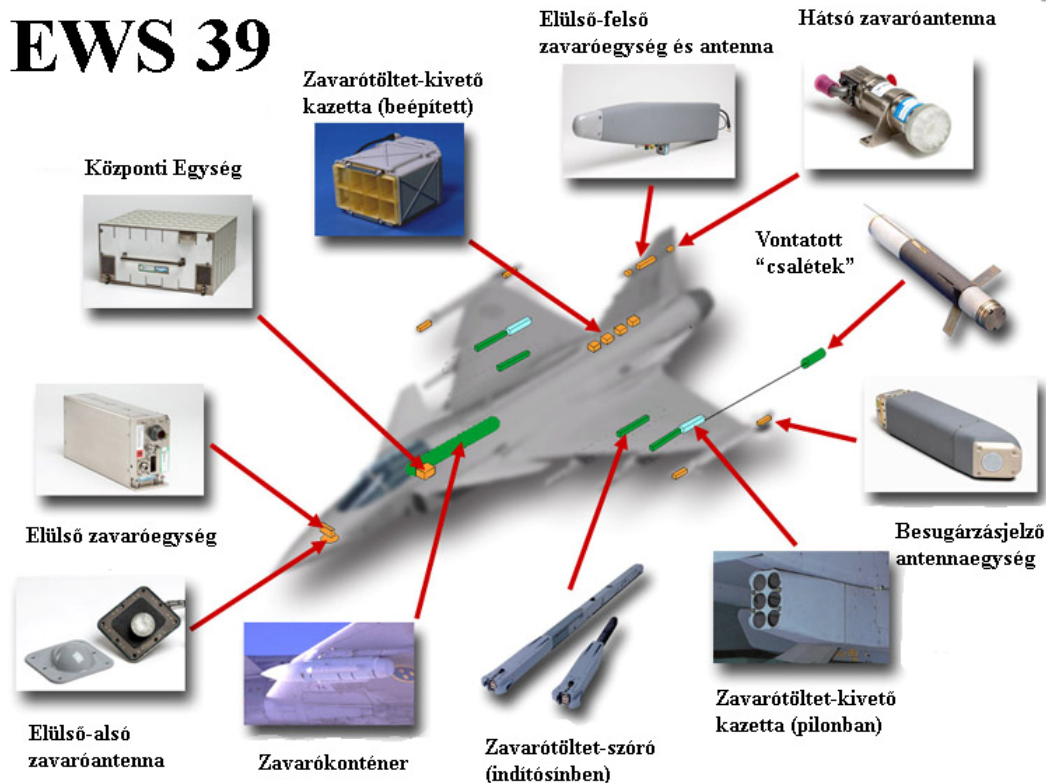


7. ábra Zavaróantenna-egység egy magyar Gripen függőleges vezérsíkján

Az aktív zavaróadók a központi processzor utasítása alapján, szintén az azonosított fenyegetésekhez rendelt ellentevékenységek-technikáknak megfelelően működnek, ugyanakkor közvetlen rádiófrekvenciás mintát is kapnak a vevőkből. A sokrétű fenyegetésekkel szembeni hatékony fellépés érdekében a korszerű REH-rendszer zavaróadói képesek sokféle jelforma létrehozására, legyenek azok zaj-, elhúzó-, vagy válaszzavarok. A zavaróadók végfokozatai általában a zavaróantennák közelében, a sárkányszerkezet jó kisugárzást biztosító, ám a vevőantennáktól lehetőleg távoli pontjain helyezkednek el (pl. orr-rész, függőleges vezérsík teteje). A kisugárzott jelek teljesítményszintjét csökkenteni lehet a kitüntetett fenyegetési irányokba néző irányított antennák révén, valamint az „intelligens” zavarok alkalmazásával.

Integráció

A korszerű fedélzeti REH-rendszer hatékony működése érdekében integrált részét képezi a hordozó repülőgép avionikájának. Az összeköttetést multiplex adatbusz (1553B), illetve más típusú összeköttetés (soros kapcsolat, ethernet) biztosítja a többi fedélzeti rendszerrel. A REH-rendszer fontos információkat kap működéséhez például a navigációs rendszertől, a rádióelektronikai kompatibilitás érdekében (interferencia-elkerülés) a kommunikációs berendezésektől (rádiók, adatátviteli rendszerek), a radartól, a válaszdától, és a rádió-magasságmérőtől. A REH-rendszer adatokat kap a replógép-vezető illetve a műszakiak adathordozó egységétől, illetve fordított irányban ezekre is menti a repülés közben történeteket.



8. ábra A JAS 39 Gripen (tervezett) integrált rádióelektronikai harc rendszere

FENYEGETÉS MÁS HULLÁMHOSSZON

Míg a harcászati repülőgépekre a fegyverzetek-technológiai proliferáció miatt egyre több olyan eszköz jelenthet fenyegetést, melyek aktivitását a hagyományosan értelmezett REH-rendszer kezelni tudja észlelés, azonosítás és ellentevékenység révén, addig számos fenyegetés az elektromágneses

spektrumnak nem a rádió (radar) frekvenciás szegmenséből érkezik. A hagyományosan értelmezett REH-rendszer márpedig csak olyan fegyverrendszereket tud kezelni, melyek működése rádiótechnikai eszközökhöz (felderítő- tűzvezető lokátorok) kötött, az infravörös önrávezető fejjel ellátott, vagy lézeres vezetősugaras irányítású rakétákat alkalmazó, rádiófrekvenciás célfelderítést és tűzvezetést nem (feltétlenül) alkalmazó rendszerek ellen hasztalan.



9. ábra A világ legelterjedtebb MANPADS típusa a Sztrela-2 és változatai

Ennek a fenyegetettségnek a legveszélyesebb képviselői a kis hatómagasságú és hatótávolságú, infravörös önirányítású, emberi erővel hordozható légvédelmi rakéták (MANPADS). Egy a nyilvános irodalom felhasználásával lefolytatott kutatómunka szerint 1973 óta ez a fegyverzeti kategória felelős a repülőgép-veszteségek 49 százalékáért, míg becslések szerint az elmúlt két évtizedben ez az arány kilencven százalékra nőtt. Passzív üzemük miatt észlelésük és az ellentevékenység rendkívül nehéz (indítás előtt gyakorlatilag lehetetlen), amit az a tény is fokoz, hogy indítási zónájuk határait néhány másodperc alatt képesek elérni, így rendkívül kevés reakcióidő áll a megtámadott repülőgép rendelkezésére, amennyiben abban tartózkodik.

Infravörös ellentevékenység

Napjainkig ennek a fenyegetésnek a kezelésére kétféle technológiai-harcjeljárási megoldás létezett a harcászati repülőgépek számára: az egyik a megelőző infravörös zavarótöltetek (infracsapdák) folyamatos kivetése arra az időre, amíg a repülőgép a MANPADS-zónában tartózkodik, a másik pedig ennek a (magassági) zónának a teljes elkerülése volt. Míg reaktív infracsapdák alkalmazása a vizuális indításészlelés és a manuális ellentevékenység-inicializáció lassúsága miatt nem lehetett eredményes, addig a megelőző módszer – a modern harcászati repülőgép mozgásparamétereivel társulva – megfelelő ellentevékenységnek bizonyult a korai MANPADS-típusokkal szemben (pl. Sztrela-2). A modern – alacsony intenzitással szórt zavarótöltetekkel szemben immunis, két tartományban dolgozó, esetleg képalkotó fejrészrel felszerelt – MANPADS-okra vonatkoztatva azonban ez a megoldás nem nevezhető kielégítőnek, márpedig ezek széleskörű elterjedése tapasztalható.

A megoldást az infravörös zavarótöltetek fejlesztésén túl olyan automatizált fedélzeti önvédelmi rendszerek jelentik, melyek nagy megbízhatósággal észlelik a hordozó repülőgépet fenyegető rakétaindításokat, és ezek alapján nemcsak passzív, hanem aktív ellentevékenységre (zavarásra) is alkalmasak. Az indításészlelők lehetnek infravörös tartományban működő optoelektronikai eszközök, melyek a rakétaindításra jellemző hőkép-változás alapján működnek. Lehetnek rádiófrekvenciás eszközök, melyek a repülőgép környezetében lévő objektumok mozgásparamétereinek gyors változásából (Doppler) észlelik az indítás tényét. Van példa a két módszer kombinációjára. Bár az optoelektronikai megközelítést már több évtizede használják, az alkalmazott technológia éretlensége

miatt a megvalósult rendszerek vakriasztási mutatója elfogadhatatlanul nagy volt (automatikus ellentevékenységet kezdeményeztek például akkor, amikor a napfény megcsillant a hordozó gép alatti vízfelületen, vagy villámlás történt a közelben). Mára a szenzorok és a mögöttük álló jelfeldolgozás (számítástechnikai szoftver- és hardware-teljesítmény) fejlődése miatt jóval hatékonyabb rendszereket tudnak előállítani, melyek egyre nagyobb teret hódítanak a harcászati repülőgépek fedélzetén, bár áruk és elhelyezésük nehézségei miatt proliferációjuk meglehetősen lassú, főként a nagysebességű harci repülőgépek fedélzetén.



10. ábra F-16-os fegyverfelfüggesztő pilonjába építhető indításjelzők

Az infravörös zavarók (az aktív ellentevékenység eszközei) két nagy csoportra oszthatók, a nem irányított sugárzókra és az irányított sugárzókra. Míg az előbbiek a helikopterekkel szemben nem terjedtek el a merevszárnyú, főként nem a nagysebességű repülőgépek fedélzetén, addig az irányított sugárzású rendszerek az utóbbi években megjelentek a leginkább fenyegetett (elsősorban a speciális erőket szállító) repülőgépeken. Ezek az indításjelző rendszerekkel együttműködésben – azok irányzása mellett – általában nagy energiájú infralézerrel „megvakítják” a közeledő rakéta infravörös önirányító fejét, természetesen attól függetlenül, hogy az milyen szintű szenzortechnológiával épült.

A jövőben a különböző hullámhosszúságon dolgozó fenyegetéseket észlelő és azonosító rendszereket integrálni kell a REH-rendszerbe, főként azért, hogy a hordozó harcászati repülőgép személyzete egységes felületen kapjon tájékoztatást ezekről, másrészt a rendelkezésre álló ellentevékenység-rendszerek működését gyorsan kezdeményezni lehessen akár automatikus, akár manuális módon.

Irodalom

- [1] *Ericsson Microwave Systems AB* broszúra: Multi-Role Airborne Systems, Information Superiority 2004
- [2] *Gripen International* előadás a Gripen REH-rendszeréről, 2003 október, a szerző jegyzetei
- [3] *Fiszer, Michal és Gruszcynski, Jerzy*: Castles in the Sky Journal of Electronic Defense 2004. november
- [4] *Fiszer, Michal*: New S-300PS Systems for Belarus Journal of Electronic Defense 2005. október

- [5] *Norberg, Leif, Ericsson Microwave Systems AB* előadás a PS-05/A lokátorról, 2005. november, a szerző jegyzetei
- [6] *Puttre, Michael*: Facing the Shoulder-Fired Threat Journal of Electronic Defense 2001. április
- [7] *Rivers, Brendan P. és Sherman, Kenneth B.*: Improving With Age: Fighter EW Upgrades Journal of Electronic Defense 2000. június
- [8] *Rivers, Brendan P.*: USAF to Locate Enemy Using RWRs Journal of Electronic Defense 2005. augusztus
- [9] *Saabtech AB* brosúra: Advanced Radar Warning System BOW
- [10] *Svensson, Kenneth, Ericsson Microwave Systems AB* előadás a PS-05/A lokátorról, 2004. május, a szerző jegyzetei
- [11] *Tamási, Ferenc*: Rádiólokátor-technika Zrínyi kiadó 1986
- [12] *Wexler, Eric*: Trial Hammer '05 Journal of Electronic Defense 2005. október
- [13] *Wodka-Gallien, Philippe*: Train As You Fight, Fight As You Train Journal of Electronic Defense 2001. június
- [14] *Zord, Gabor Laszlo*: Gripens in Hungary Spark EW Revival Journal of Electronic Defense 2006. március