

Dr. Balajti István\*

# A hiperszonikus fegyverek hatása a légvédelemre és a légtérel ellenőrzésre

Peter W. Mattes hírszerző – az Amerikai Egyesült Államok Légierőjének (USAF) őrnagya – szerint a korszerű integrált légvédelmi rendszerek (Integrated Air Defense Systems – IADS) közel húszéves alacsony fenyegetettségben való üzemeltetési környezet után, újra a védelmi tervezés élvonalába kerültek. [1] Ezt a megállapítást támasztja alá, hogy a közelmúltban műszaki paramétereit tekintve középkategóriás légvédelmi rendszerekkel sikerült megsemmisíteni nagy magasságban tevékenykedő, nagyon drága, rádióelektronikai felderítésre fejlesztett drónokat. Az újabb fejlesztésű orosz és kínai IADS hatékonysága, az egymást többszörösen átfedő párhuzamos „rendszer a rendszerben” koncepció alkalmazásával rendkívüli mértékben megnőtt. Továbbá az orosz és kínai IADS aktív zavarvédelme csak rendkívül nagy erőfeszítések árán sebezhető. A napjainkban széleskörűen elterjedt légvédelmi rendszerek ismert hiányosságaira hívja fel a figyelmet az Amerikai Egyesült Államok Kongresszusának a hiperszonikus fegyverekről (továbbiakban: HyW – Hypersonic Weapon) írt jelentése. [2] A tanulmány célja a HyW légtérel ellenőrzésre gyakorolt hatásának bemutatása, és az ahhoz kapcsolódó feladatok, valamint az idő- és költségvonzatának felvázolása. Ezek ismerete a magyar szakemberek, döntéselőkészítők és döntéshozók számára is fontos, hiszen a légterünkben zajló események detektálása, dokumentálása és a légtérel ellenőrzés biztonsága alapvető elvárás egy szuverén országgal szemben. További fontos tény, hogy a világűr gazdasági lehetőségeinek kiaknázása megköveteli a hazai légtér és az a feletti földközeli műholdpályák figyelését, amelyet Magyarország saját erőforrások bevonásával oldhat meg. Ahogy Kositzky Attila altábornok, a Magyar Légierő parancsnoka az 1990

évek közepén fogalmazott: „Mint Légierő Parancsnoknak tudnom kell, hogy ki és honnan osztja a pofonokat, még ha nem is tudok ellene védekezni”.

## A HIPERSZONIKUS FEGYVEREK LEGFONTOSABB JELLEMZŐI

A kongresszusi jelentés röviden összefoglalja az USA, Oroszország és Kína HyW-fejlesztések területén elért eredményeit. A jelentés megállapításai és javaslati nyílt szakirodalomban fellelhető tényeken alapulnak, amelyek szerint a hiperszonikus fegyvereknek két fő típusa különböztethető meg:

- Hiperszonikus „sikló/cikázó” repülőeszközök – (Hypersonic Glide Vehicles [HGV]), amelyeket rakétákkal indítanak, és rakétamotorral, „sikló/cikázó” útvonalon érik el a célterületet.
- Hiperszonikus cirkáló „rakéta”/eszközök – (Hypersonic Cruise Missiles [HCM]), amelyek „hiper” sugárhajtású hajtóművel rendelkeznek<sup>2</sup>.

A HyW alkalmazásában rejlik előnyök:

- Rendkívül nagy, a hangsebességet legalább ötszörösen – de akár hússzorosan is – meghaladó sebesség. Ennek következtében a légvédelem reakcióideje ötöd, illetve húszad részére csökken. Az 1. ábra szemlélteti az Airbus A320, a Saab JAS-39 Gripen, az Lockheed SR-71/MiG-25 és egy HyW által 20 perc alatt megtehető távolságok összehasonlítását.
- A felső légkörben 23–60 km magasságtartományban manőverezve haladnak, mint az eldobott, víz felszínén „kacsázó” lapos kövek. Megfelelő vezérléssel nagy

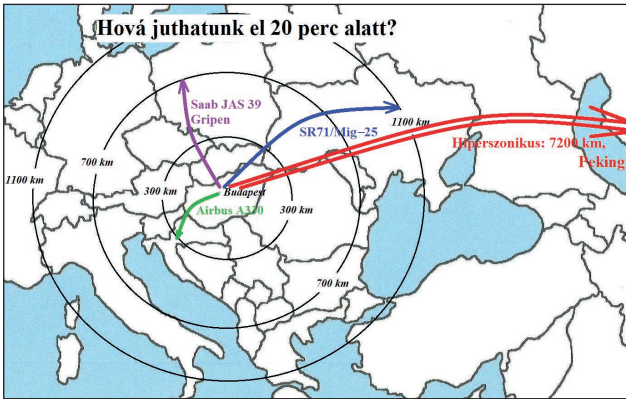
**ÖSSZEFOGLALÁS:** Napjainkban a hiperszonikus fegyverek megjelenése minden nemzet haderejében kiemelt figyelemben részesül, mivel az ellenük történő védelem kiterjesztett célkutatást, útvonalképzést, céltárgyazonosítást és megsemmisítést követel meg. Ennek oka, hogy a hiperszonikus fegyverrendszerek nagyon nagy sebességgel, gyorsulással és magassági tartományban (23–60 km) üzemelnek. Ugyanakkor kis radarkeresztmetszettel (RCS) jellemezhetők, amely manőverezés közben jelpolarizáció-ingadozást okoz a VHF-rezonáns frekvenciasávban. Az újonnan megjelent fegyverek képességeihez való alkalmazkodás és a kapcsolódó katonai műveletek tervezése megköveteli, hogy részletes és naprakész tanulmányok készüljenek az előregedő, és a korszerű radarhálózatok műszaki lehetőségeinek kiterjesztéséről. A jelenleg működő radarhálózatok infrastruktúrája, meglévő üzemeltetési és környezetvédelmi engedélyei<sup>1</sup> nagyon hasznosak az újonnan megjelenő fenyegetésekkel szembeni fejlesztések szempontjából. A javasolt megközelítés ötvözi és optimalizálja a passzív radar, a modernizált hagyományos radarhálózatok és a napjainkban kifejlesztett rádiólokátorok információfeldolgozását, miközben kiterjeszti a radarmérések szabadságfokát.

**KULCSSZAVAK:** hiperszonikus fegyverek, rakétavédelmi rendszerek, rádiólokátor-rendszer fejlesztés, rádióelektronikai harc

**ABSTRACT:** Hypersonic Weapons have emerged and have received very high attention because the defense against them requires ubiquitous surveillance, tracking, recognition and destruction. The reason is that the Hypersonic Weapon systems operate at very high speeds, accelerations and altitudes, between 23 km and 60 km. It characterizes by low Radar Cross Section (RCS), which has resonant Region in VHF frequency band with signal polarization fluctuation as it maneuvers. The implementation of extending technical resources of aging and indeed modern radar networks requires detailed consideration to be up to date and adopted into newly emerged weapons capabilities and their military operations. The infrastructure and existing operational authorizations and environmental permissions of the currently in operation radar networks are very vulnerable for upgrades against emerging threats. The proposed approach is an optimization of information extraction of Combined Passive Radar, Modernized Traditional Radar Networks and Newly Developed Radars with extension of the radar Measurement Degree Of Freedom.

**KEY WORDS:** Hypersonic Weapons, antimissile systems, radar system development, Electronic Warfare

\* National University of Public Service. Doctoral School of Military Engineering. ORCID: 0000-0003-3566-2904



1. ábra. Budapest légteréből különböző repülőeszközökkel 20 perc alatt megtehető távolságok

manőverező képesség érhető el. Ennek köszönhetően az 1. ábrán látható Budapest–Peking útirány egyszerűen Budapest–Indiai-óceán célterületre változtatható, szemben az interkontinentális rakéták könnyen kiszámítható, kötött röppályájával.

- A hiperszonikus fegyverek detektálása és útvonalba fogása nem hagyományos radarrendszerrel történik, mivel azok célfelderítési terei fölött repülnek. A detektálás az interkontinentális rakéták ellen kifejlesztett rendszerekkel sem lehetséges, mivel ez utóbbi esetben a HyW alatta marad az elvárt repülési magasságoknak és röppályáknak. Mindkét esetben a rádiólokátorok által detektált céljelekből plotot (a céltárgyra és helyzetére vonatkozó kiértékelt szintetikus információt) képeznek, majd ezekből a plotokból a harcvezetési központ „többadaros útvonalképzője” útvonalat képez és tart fenn. Az útvonalak képzése azért fontos, mivel az a rádiólokátor-adatfeldolgozás első olyan eleme, amelyre feladatot lehet szabni. Például azonosítani lehet a repülő tárgyat. Ha a céltárgyat a rádiólokátor nem képes detektálni, elmarad a plotképzés. Plotok nélkül nincs útvonal, és útvonalak nélkül fel sem merülhet azok azonosítása. Ha a céltárgy detektálása megtörténik, de az útvonalképző (helyben vagy a központban) „hamis” plotként kiszűri azokat, mert nincs



2. ábra. A hiperszonikus repülőeszközök két fő típusának fizikai kialakítása



3. ábra. Lockheed Martin AGM-183A HyW, B-52-es indító platformon [3]

felkészítve a HyW paraméterekre, az eredmény az előző gondolatmenethez hasonló lesz. Így mindkét esetben megoldandó új feladat az új típusú céltárgydetektálás, útvonalképzés és céltárgy-azonosítás problematikája.

A HyW két típusának sematikus kialakítása a 2. ábrán látható. A különböző típusok repülési magassága sebességfüggő: minél nagyobb a sebesség, annál magasabban kell repülni a légellenállás csökkentése miatt.

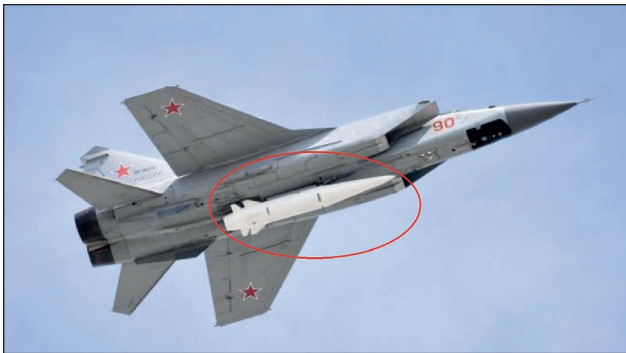
A hiperszonikus fegyverek kutatás-fejlesztése (K+F) területén három ország jár az élen. Ezek közül az USA rendelkezik a legszerteágazóbb programokkal. Több egyetem, kutatóintézet és magáncég foglalkozik a HyW fejlesztésével és a tesztelések részfeladatainak megoldásával.

A legismertebb HyW-programok megrendelőinek nevét, költség- és idővonzatait az 1. táblázat foglalja össze:

1. táblázat. A legismertebb HyW-programok

Megrendelők	Program neve	Költségkeret (mUSD/2020)	Költségkeret (mUSD/2021)	Megjegyzés
DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency – Az USA Védelmi Minisztériumának kutatásokért felelős részlege)	Harcászati rakétaindítás (Tactical Boost Glide – TBG)	152	117	
	Hiperszonikus sugárhajtású fegyverkonceptió (Hypersonic Air-breathing Weapon Concept – HAWC)	20	7	2021-ben várható rendszeresítés
U.S. Navy (Az USA haditengerészete)	Hagyományos azonnali csapás (Conventional Prompt Strike – CPS)	512	1007	Végső tesztek: 2028
U.S. Army (Az USA szárazföldi hadereje)	Nagy hatótávolságú HyW (Long-Range Hypersonic Weapon – LRHW)	404	801	
U.S. Air Force (Az USA légierije)	AGM-183 légi indítású gyorsreagálású fegyverek (Air-Launched Rapid Response Weapon – ARRW)	286	382	Sikeresen végrehajtott tesztek: 2020 augusztus





4. ábra. Kh-47M2 Kinzsal hiperszonikus fegyver egy MiG-31K típusú repülőgép külső függesztvényeként [3]

Oroszország a HyW-kutatásait – amelyek az utóbbi tíz évben felgyorsultak – az 1980-as években kezdte meg. Az eddig elért legfontosabb eredmények:

- Avangard – a világon az első, 2019. decemberében rendszeresített, 12 000 km hatótávolságú rendszer, amelyben az 5,4 m hosszúságú HyW eszközt interkontinentális rakétával indítják. Rövid ideig a hangsebesség több mint 20-szorosával képes repülni. A nukleáris robbanófej pontosabb célba juttatása érdekében a sebesség a célkörzetben már jelentősen csökken, ezért a repülés utolsó fázisában nyílik a legnagyobb esély a hatékony légvédelmi ellentevékenységre.
- 3M22 Zircon – hadihajókról és tengeralattjárókról indítható, 1000 km-en belül tartózkodó célok ellen alkalmazható. A 8 m hosszúságú repülőeszköz maximális sebessége 8–9 Mach (9800–11 000 km/h).
- Kh-47M2 Kinzsal – világelső, 2017. decemberében rendszeresített légi indítású, szilárd üzemanyagú, rakétameghajtással rendelkező rendszer (4. ábra). Hatótávolsága, a hordozó repülőgép függvényében 2–3 ezer km. Maximális sebessége 10–12 Mach (12 250–14 700 km/h). Vezérlése kombinált távirányítású, amelynek összetevői az optikai és inerciális navigáció, kombinálva a GLONASS műholdas helymeghatározási rendszerrel.

Kína hiperszonikus fegyverek területén elért eredményeit a DF-ZF-fel (NATO-kódja WU-14) alapozta meg. A DF-ZF rendszert 5-10-szeres hangsebességre terveztek, 2-3000 km-es hatótávolsággal. Újabb változata interkontinentális rakétával indítható, 12 000 km-es hatótávolsággal.

A 11 m hosszú DF-17, Kína legtöbbször emlegetett szárazföldről, hadihajókról és tengeralattjárókról is indítható HyW-eszköze (5. ábra). Maximális sebessége 5 Mach (6125 km/h), míg hatótávolsága indítóplatformtól függően: 1800-2500 km. A Stary Sky-2 (Xing Kong-2) „hullámlovass” kísérleti HyW, amely a hangsebesség 6-szorosával repül.

5. ábra. Repülőgép-hordozók ellen alkalmazható DF-17 típusú HyW [3]



Érdekessége, hogy a maga által összenyomott levegőretegben manőverező „hiper”-t sugárhajtóművel látták el. Rendszerbe állítása 2025-ben várható.

Mindhárom ország esetén komoly állami, egyetemi és ipari infrastruktúra támogatja a fejlesztéseket. A kongresszusi tanulmány rámutat a HyW stratégiai megítélésében rejlő ellentmondásokra. Természetesen az említettekén kívül más országok is (pl. India, Irán és Izrael) a hiperszonikus fegyverek fejlesztésének különböző részterületein ugyancsak előrehaladott eredményeket értek el.

## A LÉGVÉDELMI RADARRENDSZEREKKEL KAPCSOLATOS ELVÁRÁSOK

A légtérelőőrzést ellátó radarrendszereket (IADS) gyakran a légvédelem „szemének” nevezik, amely nélkül nem beszélhetünk hatékony légvédelemlről. E tanulmány szerzője a HyW előzőleg ismertetett jellemzőit, a légtérelőőrzéssel kapcsolatos elvárásokat, a szakirodalom [4] felhasználásával saját tapasztalatok alapján elemzi, illetve egészíti ki.

Általánosan elfogadott tény, hogy a nagy hatótávolságú légtérelőőrző rádiólokátorok ún. „cosec” négyzetes felderítési terei egy azonos magassági tartományból (kb. 30 km-es magasságig) és egy azonos távolsági tartományból (kb. 450 km-ig) állnak (6. ábra). Ennek következtében a napjainkban széles körben elterjedt radarok nem képesek a hiperszonikus fegyvereket detektálni, útvonalba fogni, az útvonalakat fenntartani és céltárgyként azonosítani. Az azonosítás egy külön eljárásrend, amelyet egyszerűbb esetben másodlagos rádiólokátorokkal és barát-idegen felismerő (IFF) rendszerekkel a hadműveleti rendszerek települési helyszínén hajtanak végre. Korszerűbb rendszerekben képalkotó radarok segítségével, mesterséges intelligencia alkalmazásával határozzák meg. A radar, és a hadműveleti rendszerek továbbfejlesztése szempontjából fontos HyW-jellemzők alábbi szempontok szerinti csoportosítása:

- A HyW-eszközök indíthatók „hagyományos” szárazföldi mobil, vagy fix települési körzetekből, tengeri vagy légi hordozó eszközökről. Ezek valószínűleg már az indítási fázisban a kiépült harcászati-hadászati rakétavédelmi rendszerek érzékelő alrendszerével megfigyelhetők. Ugyanakkor az észlelések hitelessége rendkívüli mértékben csökkenthető korszerű rádióelektronikai harc-eszközök és eljárások lokátorok elleni alkalmazásával.
- A HyW-eszközök rendkívüli nagy fizikai és hőterhelésnek vannak kitéve, ezért aránylag kis tömeggel rendelkeznek és kompakt felépítésűek (mint azt a 2. 3. 4 és 5. ábrák is illusztrálják). Ennek következtében a hatásos radarcéltárgy-keresztmetszetük (RCS) kicsi, és függ a radar hullámhosszától, polarizációjától, a céltárgy mozgása és a hullámterjedés okozta fluktuációktól, valamint a radarantenna-nyaláb besugárzási irányától. Pessimista becslés szerint S sávú (3,1 GHz) radarok esetén az RCS = 0,02–0,1 m<sup>2</sup> közötti; az L frekvenciasávban (1,3 GHz) ez az érték 0,08–0,3 m<sup>2</sup>. Emellett a VHF sávban (0,2 GHz) már 0,2–1 m<sup>2</sup> [5]. A HyW szimulációs modelljei frekvenciatartományként és megvilágítási szögenként eltérőek. Az Sw1 és Sw3 céltárgy-típusokkal modellezhetők, mivel az intenzív plazmaképződés csökkenti a fluktuáció mértékét. A légtérelőőrzés okozta nagy hőképződés lehetővé teszi a hatékony hőérzékelő és optikai rendszerek kiépítését.
- A HyW harcászati-hadműveleti rakétákhoz képest alacsony röppályán történő manőverezését a repülés teljes szakaszán irányítani kell. Ennek következtében az irányítási csatornák és megoldások lehetőségét nyújthatnak elektronikai ellentevékenység alkalmazására.

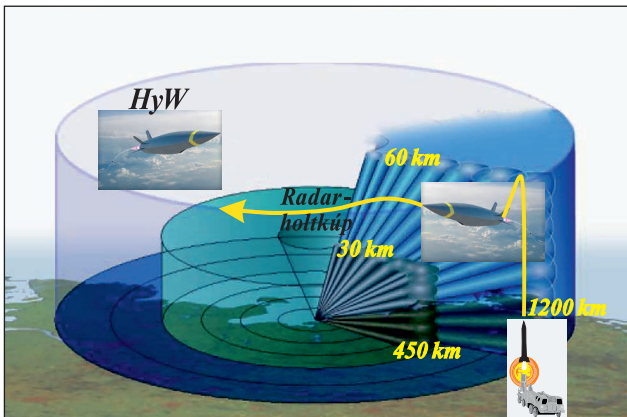
Következtetésként felsoroljuk a légtérelenőrző nagy hatótávolságú radarrendszerekkel szembeni elvárásokat:

- A hatótávolság megnövelése magasságban legalább 60 km-re, míg távolságban 1200 km-re.
- Sűrűn telepített radarhálózat kiépítése szükséges, illetve a meglévő rendszereket modernizálni kell vagy kiegészíteni a radarok holtkúpjainak lefedésére és a többszörös 3D átfedésű rádiolokációs terek biztosítására.
- A legkorszerűbb radaroknak adott irányokban és magassági szektorokban gyorsan mozgatható digitális antennanyaláb-vezérléssel kell rendelkezniük.
- A radarok digitális jelfeldolgozó rendszerét módosítani, illetve kiegészíteni szükséges a jel-zaj (+zavar) viszony növelése érdekében. A feladatra optimalizált jelellőállítást, a valós idejű hullámterjedési és a korrelációs tényezők folyamatos pontosítását kell végrehajtani, amellyel kihasználhatók a koherens jelfeldolgozásban és jelintegrálásban rejlő előnyök.
- Az egyedi radarok adóteljesítményét minimum a duplájára kell növelni, miközben az adójel tisztaságával kapcsolatos követelmények is növekednek.
- Ezek a változások természetesen megkövetelik a központi, hadművelleti rendszerek jel- és adatfeldolgozó alrendszereinek, valamint a kapcsolódó interfészek módosítását, kiegészítését is.

A hagyományos rádiolokátorok és a hiperszonikus fegyverek detektálására is alkalmas megnövelt rádiolokációs terek egymáshoz való viszonyát szemlélteti a 6. ábra. Megfigyelhető, hogy a HyW csak az új, megnövelt radarperformanciákkal detektálható és fogható útvonalba. Külön problémát jelentenek a radarok holtkúpjai, ahol a hagyományos céltárgyakat már napjainkban sem lehet detektálni. Alacsony magassági tartományokban ez a hiányosság a szomszédos radarokkal kiküszöbölhető. A 6. ábra ebből a szempontból nem elég pontos, mivel a holtkúp alsó szögének nagysága 60-70°-os, ezáltal a magasság növekedésével jelentősen nő a radar által „nem belátható” területek nagysága. Ennek csökkentése és a céltárgydetekció valószínűségének növelése érdekében szükséges az egymást többszörösen átfedő, különböző frekvenciatartományokat egymásba integráló radarrendszerek alkalmazása. Erre példa a 7. ábra, amely bemutatja a napjainkban használt különböző típusú radarrendszerek függőleges céltárgydetektálási terét, azok egymáshoz való viszonyát és a különböző indítású HyW repülési profilját.

A 7. ábrán zöld színnel jelölt – „L” 3D radar (pl. a hazánkban is üzemelő RAT-31DL) – területe túl kicsi ahhoz, hogy a HyW megjelenését detektálja. Ráadásul a terület nagysá-

6. ábra. Hiperszonikus fegyverek detektálására is képes megnövelt rádiolokációs terek

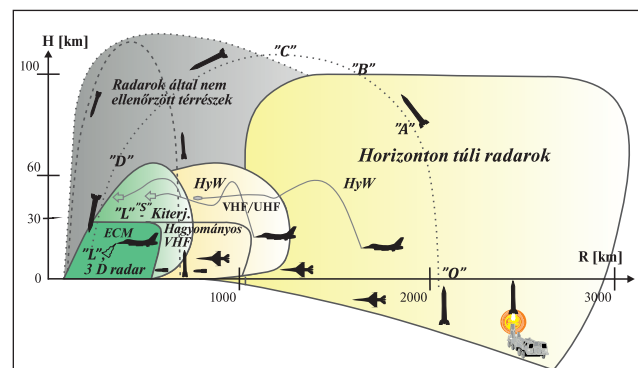


ga, távolságban és magasságban is jelentősen csökkenthető korszerű elektronikai harc (a 7. ábrán ECM jelölés) alkalmazásával. A hagyományos VHF, „m” hullámsávú radarok (pl. a Medinán települt Oborona-14 radar) esetén valamivel jobb a helyzet, mivel már minimális korszerűsítés esetén legalább néhány indítás ténye regisztrálható. A HyW-indítások szempontjából jelentős a „horizonton túli radarok” képességeinek kihasználása és az általuk mért adatokhoz történő hozzáférés, mivel ezek a radarok 1-3 ezer km között mérik a harcászati-hadművelati rakéták indítását. Az előzőekben megállapítottuk, hogy egyre több HyW indítható hagyományos rakétasilókból, mobil platformokról vagy tengeralattjárókról. Bár a röppálya nem ballisztikus, az indítás ténye, valamint a 7. ábrán jelölt, más esetben kiszámítható „A”, „B” és „C” röppályaelemek hiánya figyelmeztethet a veszély jellegére.

A 7. ábrán bejelölve láthatók azok a perspektivikus rádiolokációs terek, amelyek kialakítása elengedhetetlen a HyW-fegyverek detektálása, útvonalképzése és fenntartása, valamint azonosítása szempontjából. Az ábrán szürkével jelölt „Radarok által nem ellenőrzött térrészek” napjainkban még jelentős nagyságúak – pl. az óceánok partjaitól távoli légterek – amelyek költséghatékony lefedése a polgári légi irányítás szempontjából napjaink és a közeljövő feladatai közé tartoznak. Az eddig javasolt passzívradaros megoldások erre a problémára nem alkalmazhatók az adórendszerek hiánya, és a műsorszóró adóantennák földközelezi térrészekre fókuszált iránya miatt. Megoldást kínálnak a fejlesztés alatt lévő, a 7. ábrán „HyW VHF/UHF” jelöléssel jelzett, nagy teljesítményű radarok, amelyek 1000–1200 km távolságig és 60 km magassági tartományig megoldhatják a HyW megjelenésével bekövetkező kihívásokat. Ugyanakkor a „VHF-radarok”, passzív radaros mérőpontokkal kiegészítve, jelentősen csökkenthetik a napjainkban még nem ellenőrzött térrészek nagyságát. Külön megrendelésre az „L” és „S” sávú radarok rendelkezhetnek harcászati ballisztikus rakéták észlelésére és útvonalba fogására alkalmas kiterjesztett rádiolokációs terekkel, amelyet az „L Kiterj.” jelöléssel mutat a 7. ábra. Mint látható, ez a terület korlátozott módon, ideiglenes és aránylag rövid idő alatt megvalósítható fejlesztésekkel, megoldást nyújthat a HyW korlátozott detektálására, és útvonalba fogására.

A 2. táblázat a rádiolokáció egyenletére épülő, ún. Blake Chart számítások alapján, a HyW-fegyverek rendszerbe állásával felmerülő feladatok megoldásához szükséges, a szerző által legfontosabbnak és elvártnak tartott radartípus performanciákat foglalja össze. Az összehasonlítás alapja egy olyan radar, amely azonos céltárgydetekciós minőségi jellemzők ( $P_d/P_{v1}$ ) és a céltárgy detektálási összeszveszteségek (20,5 dB) esetén a szabvány céltárgyat 300 km távolságra

7. ábra. Hagyományos radarrendszerek és a HyW detektálási lehetőségeik



2. táblázat. Különböző típusú repülőeszközök szabvány céltárgyhoz viszonyított detektálási lehetősége

RCS = 1 m <sup>2</sup> , Sw1/Repülőgéptípus	R <sub>max</sub> [km] = 300 km, Szabadtér, P <sub>d</sub> = 0,8/P <sub>vi</sub> = 10 <sup>-6</sup> , Nincs frekvencia-diverzitás = 1 (FD)					
	L (1,3 GHz)		S (3,1 GHz)		VHF (0,18 GHz)	
	FD = 1	FD = 2	FD = 1	FD = 2	FD = 1	FD = 2
	300 km	349 km	300 km	349 km	300 km	549 km
Airbus A320	531 km	619 km	447 km	522 km	791 km	923 km
Saab JAS-39	393 km	458 km	332 km	386 km	530 km	617 km
SR-71/MiG-25	446 km	531 km	394 km	460 km	501 km	634 km
HyW	224 km	260 km	171 km	199 km	300 km	549 km

Ahol: Airbus A320 RCS = (50 m<sup>2</sup> – VHF, 10 m<sup>2</sup> – L, 5 m<sup>2</sup> – S), Saab JAS-39 RCS = (10 m<sup>2</sup> – VHF, 3 m<sup>2</sup> – L, 1,5 m<sup>2</sup> – S), SR-71/MiG-25 RCS = (8 m<sup>2</sup> – VHF, 5 m<sup>2</sup> – L, 3 m<sup>2</sup> – S), HyW RCS = (1 m<sup>2</sup> – VHF, 0,3 m<sup>2</sup> – L, 0,1 m<sup>2</sup> – S)

képes detektálni. A táblázat megadja a különböző típusú repülőeszközök detekciós távolságát oldalról történő megvilágítás esetére, frekvenciadiverzitás nélküli, egy vivőfrekvencia (FD = 1) alkalmazása, és két vivőfrekvencia (FD = 2) azonos térrészben történő alkalmazási eseteire. A napjainkban széleskörűen elterjedt L, és különösen az S sávú radarok lehetőségeivel szemben, a VHF-radarok HyW detektálási lehetőségei kimagaslóak.

### A HyW kihívásainak megfelelő radarok

A tanulmány szerzője szerint a legnagyobb feladatot az jelenti, hogy rövid időn belül nagy mennyiségű a HyW fegyverek kihívásainak megfelelő rádiólokátort kell kifejleszteni, telepíteni, a légvédelemben integrálni és folyamatosan fenntartani. A műszaki kihívások megoldásán túl, ki kell fejleszteni az új képességek harcászati alkalmazásának hatékony módszereit is. Az ebben rejlő feladatok komplexitására, a harcászati lehetőségek elvárásainak elemzésére nyújt jó példát a [6] forrás. Nyilvánvaló, hogy a feladat rövid idő alatt nem megoldható. Így számba kell venni a rövid távon megvalósítható elvárásokat, a rendelkezésre álló szakembereket, költség- és idővonzatokat. Eszerint a legperspektivikusabb rendszer-topológia ötvözi a legkorszerűbb 3D radarokat, amelyek digitális antennanyaláb-vezérléssel rendelkeznek, és a már rendszerben lévő radarok fejlesztésében rejlő lehetőségeket. Különösen fontos a már rendszerben lévő radarok modernizálása, hiszen Európában néhány civil szervezet nagyon eredményes az új radarrendszerek telepítésének megakadályozásában, illetve elodázásában. Így Magyarországon felértékelődnek az Oborona-14, RAT-31DL és P-37 radarok és települési helyeik. Hazánk természetesen nem mondhat le a legkorszerűbb, HyW-feladatok detektálására is alkalmas új radarok beszerzéséről sem.

Európában az új radarrendszerek kifejlesztésében, és az eredmények bemutatásában élen jár a német Fraunhofer FHR intézet. (Régebben hasonló célkitűzések tartoztak a Haditechnikai Intézet – HTI néven Magyarországon működő szervezet elektronikai osztályának feladataihoz.) A [7] szakirodalomban az FHR intézet munkatársai összefoglalják a XXI. század korszerűnek tekinthető radarrendszereivel szemben támasztott elvárásokat, amelyek a radarrendszer hálózat szintű jelszinkronizálás

megoldásai köré csoportosíthatók. Ilyen radarhálózatok a passzív radarok és jelszinkronizálási megoldásai, amelyek fejlesztésében élen járnak a cseh ERA a.s. és a német Hensoldt A.G. cégek, de magyar kutatók is szép eredményeket értek el ezen a területen. A kutatások középpontjában a kvázi-monostatikus radarok állnak, amelyek koherens jelintegrálással új megoldásokat kínálnak a radarrendszerekkel szemben támasztott követelmények teljesítése érdekében. Ez az elv nem jelent újdonságot a magyar légtérel ellenőrzés számára, hiszen a szovjet Kabina-66 rendszer ugyancsak ezen az elven működött. Igaz, a kor akkori technikai színvonala csak a nem koherens jelintegrálás módszerének alkalmazását tette lehetővé.

A NATO-tagállamok közül kétségtelenül az USA radarokkal kapcsolatos kutatás-fejlesztési tevékenysége a legfontosabb és a legeredményesebb. A szerteágazó fejlesztések közül – a szerző véleménye szerint – a legfigyelemre méltóbb a kifejlesztés alatt álló, többfeladatú, *időjárás* és *céldetektálási* feladatokat párhuzamosan megoldó, 76 alcsatornát mindkét polarizációban feldolgozó rádiólokátor [8]. Az aktív, digitálisan vezérelt fázisantenna hatásos izotróp antennához viszonyított nyeresége 85 dBW, átlagosan 40 dB oldalszintekkel, míg az antennanyaláb irányba állításának hibája kevesebb, mint 0,04°. A 8. ábrán látható a Lockheed Martin cég által nemzetközi finanszírozással kifejlesztett AN/SPY-7(V)1 többfeladatú távolfelderítő radar [9]. A szerző véleménye szerint ez a radar aránylag rövid idő alatt, alacsony költséggel tovább fejleszthető a HyW megjelenése által okozott kihívások megoldására is.

A nagy hatótávolságú VHF-radarok a NATO-ban történő széleskörű alkalmazásának szükségessége már évekkel ezelőtt felmerült [10]. Ugyanakkor napjainkban egyedül a lengyel radarszakemberek állnak közel egy *nagy teljesítményű* VHF-rádiólokátor kifejlesztéséhez és rendszerbe állításához. A 9. ábrán látható radar, harcászati alkalmazásától függően mechanikusan állítható vízszintes irányba – pl. hagyományos célok ellen –, vagy függőleges pozícióba helyezve, polarizációs antennarendszerét működteti, pl. harcászati rakéták detektálására. A közeljövőben valószínűsíthető a magyar és a lengyel szakemberek együttműködése egy modulárisan fejleszthető közös radarplatform kialakítására. Meg kell jegyezni, hogy az új típusú radarrendszerek hálózatainak kialakításához komolyabb rendszertechnikai kihívásoknak kell megfelelni, mint az egymagában üze-

8. ábra. Az AN/SPY-7(V)1 radarrendszer [9]





9. ábra. Lengyel fejlesztésű, nagy teljesítményű VHF-rádiólokátor

melő, napjainkban széles körben elterjedt IT hálózatsomag alapon szervezett radarhálózatoknak. Ezért az új, fejlesztés alatt lévő radarok, egyedi paramétereiket tekintve hagyományos telepítési módokkal, csak az orosz Protivnik (Противник) radarcsalád műszaki performanciáit érhetik el. A megvalósítás előtt álló legnagyobb kihívások a békeidőben nem kellően értékelt, elektronikai ellentevékenység hatékonyságával függnek össze. Szerencsére az utóbbi időben újra egyre komolyabb figyelmet fordítanak az elektromos harc jelentőségére [11,12].

## ÖSSZEZÉS

A tanulmány bemutatta, hogy a HyW-fegyverek ellen napjaink légvédelmi rendszerei nem képesek hatékonyan tevékenykedni, mivel a légtérelenőrző radarok eddig elvárt képességei és mérési szabadságfokához képest, a HyW-rendszerek megnövelt támadási szabadságokkal és lehetőségekkel rendelkeznek. A harcászati-hadászati ballisztikus rakéták által kifejtett védelem lehetőségei is rendkívüli mértékben beszűkülnek, mivel csupán az indítás fázisának detektálására alkalmasak. Erre is csak akkor, ha az indítás nem repülőgépről, a szembenálló fél számára radarokkal ellenőrizhető térrészben történik.

A HyW megjelenésével bekövetkezett légvédelemmel kapcsolatos kihívások megoldásai közül a VHF-rádiólokátor-rendszer lehetőségei a legígéretesebbek, míg a modernizált, vagy teljesen új 3D, több polarizációval rendelkező sokcsatornás L és S sávú radarokkal a célvonalak indítása és fenntartása, valamint a nem együttműködő célok részbeni azonosítása is megoldható. Ennek a munkának kicsi, de jelentős szegmense a VHF frekvenciataromány minél hatékonyabb kihasználására irányul, amely ma már a civil felhasználók zavarása nélkül is lehetséges.

Megállapítható, hogy napjaink új kihívásainak való megfelelés, valamint az új polgári, katonai és gazdasági kihívások és a szakirodalmi hivatkozások összetettsége megkövetelik nemcsak a hadmérnöki tudás szinten tartását, de az elvárások harcászati-hadműveleti újragondolását is.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Mattes, P. W. „What is a Modern Integrated Air Defense System” *Air Force Magazine* 2019. 10. 01. Elérés: 2020. 11. 10.  
<https://www.airforcemag.com/article/What-is-a-Modern-Integrated-Air-Defense-System;>
- [2] Congressional Research Service. „Hypersonic Weapons: Background and Issues for Congress” Updated March 17, 2020.  
<https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R45811;>

- [3] M. Peck. „Worried About Russian And Chinese Hypersonic Weapons? DARPA Isn't” *The National Interest*, 2020.02.13. Elérés: 2020. 11. 10.  
<https://nationalinterest.org/blog/buzz/worried-about-russian-and-chinese-hypersonic-weapons-darpa-isnt-123261;>
- [4] Lockheed Martin Co. „Revolutionizing Hypersonic Technologies” Elérés: 2020. 11. 10.  
<https://www.lockheedmartin.com/en-us/capabilities/hypersonics.html;>
- [5] István Balajti. „Performance of Air Surveillance requirements against Electronics Warfare and Hypersonic Weapons with Modernized Traditional Radar Networks” *Aerospace and Electronic Systems Magazine* (2021. kiadás alatt);
- [6] I. Kurucz. *A honi rádiótechnikai egység (magasabb-egység) harcvezetési és harctevékenységi folyamatainak korszerűsítése, a vezetéstechnikai eszközök rendszerbe állításával összhangban*. Kandidátusi értekezés. Budapest, ZMKA. 1988;
- [7] Weis, Matthias, Stephan Sandenbergh, Ferran Valdes, Peter Muller, Dominik Bok, Michael Kohler, Daniel O'Hagan, és Peter Knott. „Aspects of Next Generation Sensor/Radar Networks”. In *2019 20th International Radar Symposium (IRS)*, 1–8. Ulm, Germany: IEEE, 2019.  
<https://doi.org/10.23919/IRS.2019.8768188;>
- [8] Kowalski, Elizabeth, David Conway, Alexander Morris, és Christine Parry. „Multifunction Phased Array Radar Advanced Technology Demonstrator (MPAR ATD) Nearfield Testing and Fielding”. In *2019 IEEE Radar Conference (RadarConf)*, 1–4. Boston, MA, USA: IEEE, 2019.  
<https://doi.org/10.1109/RADAR.2019.8835837;>
- [9] „Four Nations to Be Protected with Lockheed Martin's Next Generation Radar” *Lockheed Martin* Elérés: 2020. 11. 10.  
<https://news.lockheedmartin.com/2020-01-14-Four-Nations-to-Be-Protected-with-Lockheed-Martins-Next-Generation-Radar;>
- [10] Balajti, I., G. Kende, és E. Sinner. „Increased importance of VHF radars in ground-based air defense”. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine* 27, sz. 1 (2012. január): 4–18.  
<https://doi.org/10.1109/MAES.2012.6145436;>
- [11] A. De Martino. *Introduction to Modern EW Systems*, Second Edition, Artech House, 2018;
- [12] I. Balajti. „Air Defense System Operation in the EW Space: Understanding where radar system capability exists within Electromagnetic Spectrum Operations (EMSO) for the military” *Military Radar Conference*, London, 27-29 August 2019, Elérés: 2020. 11. 10.  
<https://www.defenceiq.com/events-militaryradar/speakers/istvan-balajti>.

## JEGYZETEK

- 1 Lásd részletek a Zengőre tervezett 3D radarral kapcsolatban. Hasonló radar 1981 óta ma is üzemel Berlin (Tempelhof) közepén.
- 2 A robotrepülőgépeket fordítási hiba miatt, tévesen szárnyas rakétának vagy cirkáló rakétának nevezik. A robotrepülőgép aerodinamikai (nem ballisztikus) elven repülő pilóta nélküli eszköz, melynek a levegőben maradásához szükséges felhajtóerő a szárny és az áramló levegő kölcsönhatásaként keletkezik. A mozgásához szükséges tolóerőt a környezeti levegőt felhasználó sugárhajtómű termeli, nem rakétamotor (– Szerk.). Katonai terminológiai értelmező szótár Zrínyi Kiadó, 2015. 564. o. és Katonai Lexikon, Zrínyi Kiadó, 1985. 80. o.