

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, döntéshozók és döntéshozók számára is fontos, hiszen a légtérünkben 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 altábornagy, 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 rendelkeznek².

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

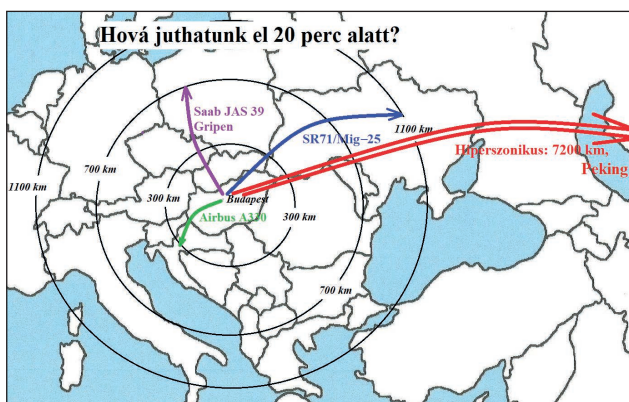
ÖSSZEFOGLALÁS: Napjainkban a hiperszonikus fegyverek megjelenése minden nemzet haderejében kiemelt figyelemben részesül, mivel az ellenük történő védelem kiterjesztett célkutatást, útvonalképzést, céltárgyazonosítást és megsemmisítést követel meg. Ennek oka, hogy a hiperszonikus fegyverrendszerek nagyon 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 engedélyei¹ 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 útírány 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 „többbradaros 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.

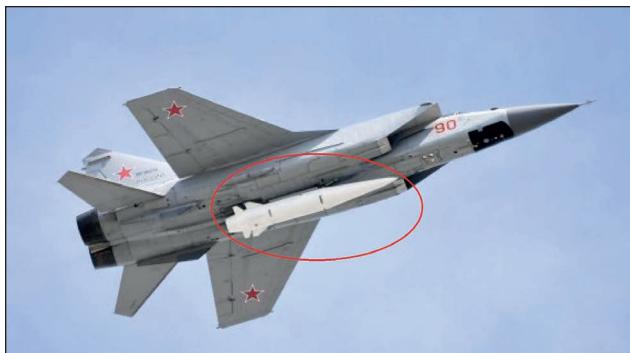
A hiperszonikus fegyverek kutatás-fejlesztése (K+F) területén három ország jár az élen. Ezek közül az USA rendelkezik a legszerteágazóbb programokkal. Több egyetem, kutatóintézet és magáncég foglalkozik a HyW fejlesztésével és a tesztek részfeladatainak megoldásával.

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 függesztményeként [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 tervezték, 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 Starry 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 levegőrétegen 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 említetteken 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 légtérel ellenőrzést ellátó radarrendszereket (IADS) gyakran a légvédelem „szemének” nevezik, amely nélkül nem beszélhetünk hatékony légvédelemről. E tanulmány szerzője a HyW előzőleg ismertett jellemzőit, a légtérel ellenőrzéssel kapcsolatos elvárásokat, a szakirodalom [4] felhasználásával saját tapasztalatok alapján elemzi, illetve egészíti ki.

Általánosan elfogadott tény, hogy a nagy hatótávolságú légtérel ellenőrző 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 hadművelleti rendszerek települési helyszínén hajtanak végre. Korszerűbb rendszerekben képalkotó radarok segítségével, mesterséges intelligencia alkalmazásával határozzák meg. A radar, és a hadművelleti 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 alrendszereivel 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. Pesszimista becslés szerint S sávú (3,1 GHz) radarok esetén az RCS = 0,02–0,1 m² közötti; az L frekvenciasávban (1,3 GHz) ez az érték 0,08–0,3 m². Emellett a VHF sávban (0,2 GHz) már 0,2–1 m² [5]. A HyW szimulációs modelljei frekvenciatartományként és megvilágítási szögeként eltérőek. Az Sw1 és Sw3 céltárgy-típusokkal modellezhetők, mivel az intenzív plazmaképződés csökkenti a fluktuáció mértékét. A légellenállás okozta nagy hőképződés lehetővé teszi a hatékony hőérzékelő és optikai rendszerek kiépítését.
- A HyW harcászati-hadművelleti rakétákhoz képest alacsony röppályán történő manőverezését a repülés teljes szakaszán irányítani kell. Ennek következtében az irányítási csatornák és megoldások lehetőséget nyújthatnak elektronikai ellentevékenység alkalmazására.

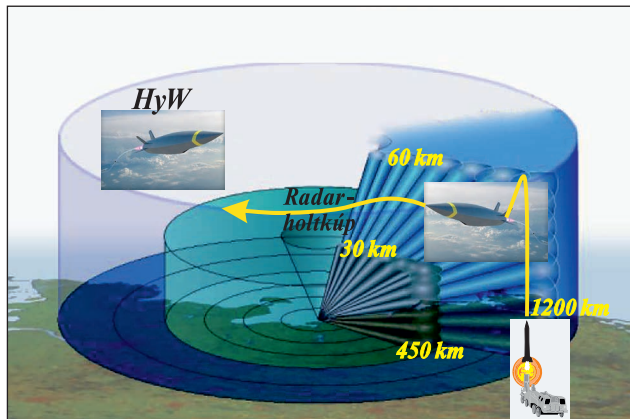
Következtetésként felsoroljuk a légtérelenőrző nagy hatótávolságú radarrendszerekkel szembeni elvárásokat:

- 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 rádiólokációs terек 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-za^r (+zavar) viszony növelése érdekében. A feladatra optimalizált jelelőállítást, 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, hadműveleti rendszerek jel- és adatfeldolgozó alrendszeit, valamint a kapcsolódó interfészek módosítását, kiegészítését is.

A hagyományos rádiólokátorok és a hiperszonikus fegyverek detektálására is alkalmas megnövelt rádiólokációs terek egymáshoz való viszonyát szemlélteti a 6. ábra. Megfigyelhető, hogy a HyW csak az új, megnövelt radar performanciákkal 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 tereit, azok egymáshoz való viszonyát és a különböző indítású HyW repülési profiljait.

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

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

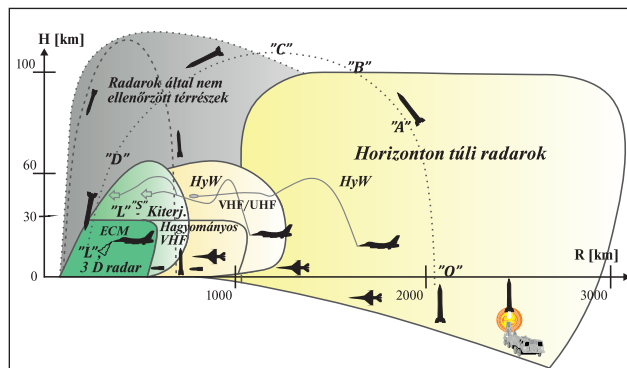


ga, távolságban és magasságban is jelentősen csökkenthető korszerű elektronikai harc (a 7. ábrán ECM jelölés) alkalmazásával. A hagyományos VHF, „m” hullámsávú radarok (pl. a Medinán települt Oboron–14 radar) esetén valamivel jobb a helyzet, mivel már minimális korszerűsítés esetén legalább néhány indítás 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 méri a megállíthatatlan hadműveleti rakéták indítását. Az előzőekben megállapítottuk, hogy egyre több HyW indítható hagyományos rakétasilókból, mobil platformokról vagy tengeraltjárókról. 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 rádiólokációs 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 földközeli térrészekre fókuszált irányja miatt. Megoldást kínálunk 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 rádiólokációs 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 rádiólokáció egyenletére épülő, ún. Blake Chart számítások alapján, a HyW-fegyverek rendszerbe állásával felmerülő feladatok megoldásához szükséges, a szerző által legfontosabbnak és elvártak tartott radartípus performanciákat foglalja össze. Az összehasonlítás alapja egy olyan radar, amely azonos céltárgydetekciós minőségi jellemzők (P_d/P_{vi}) és a céltárgy detektálási összesztesítések (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 ² , Sw1/Repülőgéptípus	R _{max} [km] = 300 km, Szabadtér, P _d = 0,8/P _{vl} = 10 ⁻⁶ , 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 m² – VHF, 10 m² – L, 5 m² – S), Saab JAS-39 RCS = (10 m² – VHF, 3 m² – L, 1,5 m² – S), SR-71/MiG-25 RCS = (8 m² – VHF, 5 m² – L, 3 m² – S), HyW RCS = (1 m² – VHF, 0,3 m² – L, 0,1 m² – 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 elodáztatásában. 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 légtérellenőrzés 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

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



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-



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

melő, napjainkban széles körben elterjedt IT hálózatsomag alapján 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 értékelte, elektronikai ellentevékenység hatékonyságával függnek össze. Szerencsére az utóbbi időben újra egyre komolyabb figyelmet fordítanak az elektromos harc jelentőségére [11,12].

ÖSSZEGZÉS

A tanulmány bemutatta, hogy a HyW-fegyverek ellen napjaink légvédelmi rendszerei nem képesek hatékonyan tevékenykedni, mivel a légtérellelőrző radarok eddig elvárt képességei és mérési szabadságfokához képest, a HyW-rendszerek megnövelt támadási szabadságfokkal 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 célúvonalak 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-hadművelési újrarendelését 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.

6. ábra. TerraMax UGV technológiát alkalmazó Oshkosh M-ATV harcjármű [17]



Dr. Gyarmati József* – Simó Réka**

Autonóm terepjáró járművek katonai felhasználásának lehetőségei II. rész

A szerzők a tanulmány első részében tisztázták az autonóm jármű fogalmát, valamint az eszközök alkalmazásának civil és a katonai környezetét. A cikk kitért a zalaegerszegi ZalaZone önvezető jármű tesztpálya bemutatására is. Az autonóm rendszerek csoportosítását követően az érdeklődők megismerkedhettek az autonóm járművek meghajtásával, hordozó platformjával és mechanikájával. A tanulmány második része az önvezető járművek előnyeit, illetve hátrányait veszi sorra. Önálló rész foglalkozik az önvezető katonai járművekkel és azok harctámogató műveletekben történő részvételével. Végezetül a szerzők kitérnek a járművek logisztikai feadatokban betöltött szerepére, különös tekintettel a katonai járműmozgásokra, szállítási tevékenységekre, valamint a menetoszlopok biztosítására.

AZ ÖNVEZETŐ JÁRMŰVEK ALKALMAZÁSÁNAK ELŐNYEI ÉS HÁTRÁNYAI

AZ ÖNVEZETŐ JÁRMŰVEK ALKALMAZÁSÁNAK ELŐNYEI

Katonai területen az önvezető járművek alkalmazásának legfontosabb szempontja a biztonsági tényező. A bevetések során az autonóm jármű irányítója/vezetője nem kerül közvetlen veszélybe, hiszen fizikálisan nem kell részt vennie a műveletekben, feladatokban. Az emberi jelenlét hiánya pozitívan befolyásolhatja a jármű belső kialakítását is, hiszen nincs feltétlenül szükség sem a vezető-, sem az

utastér kialakítására. Az így felszabaduló tér beépíthető és kihasználható különböző berendezések elhelyezésére. Az utastér kényelmi funkciói, pl. a fűtés és a hűtés elhanyagolhatók, és az emberi szervezetre ható lengések tompítása sem prioritás. Ez a tényező nagyban megkönnyíti a jármű tervezését, mivel a konstruktőröknek csak a szerkezet és a berendezések rezonanciákra gyakorolt hatását kell figyelembe venniük.

Az előnyök közé sorolandó, hogy nem kell a gépkocsivezető állomány ABV- (atom-, biológiai és vegyi-) védelmét biztosítani. Önvezető járművek alkalmazása esetén csupán berendezéseik, szenzorai és fegyverrendszereik maximális védelméről kell gondoskodni. Ha ez a követelmény megfelelő anyagok felhasználásával és az autonóm eszköz hatékony kialakításával megvalósul, a járművek szennyezett területen is alkalmazhatók. Azoknak a hagyományos csapatszállító és egyéb katonai járműveknek, amelyeknek nem megfelelő az ABV-védelmük, időben és térben korlátozott a szennyezett területen történő mozgása. Adódhat olyan feladat, amikor – az állomány egészségének veszélyeztetése nélkül – nukleáris vagy vegyi anyaggal szennyezett területen kell végrehajtani műveleteket, ilyen esetben az emberi tevékenységet az önvezető járművek válthatják ki.

A katonai járművek fontos műszaki tulajdonsága a páncélvédelem. Ez a képesség védi a járműben utazó katonákat, valamint magát a járművet és annak szerkezeti elemeit is. A megfelelő páncélvédelem tehát kiemelt szempont a tervezés során. Bizonyos tevékenységek elvégzésé-

* Okl. mk. alezredes (PhD) NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Haditechnikai Tanszék, tanszékvezető. ORCID: 0000-0001-7594-2383

** NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar. ORCID: 0000-0003-0986-2363

re kialakított autonóm járművek esetében azonban – amelyek utasok nélkül végzik el feladataikat – a hagyományosnál könnyebb páncélzat, tehát kisebb tömegű jármű is kialakítható [1].

AZ ÖNVEZETŐ JÁRMŰVEK ALKALMAZÁSÁNAK HÁTRÁNYAI

Az önvezető járműveket sokévtényi kutatás és harci alkalmazási tapasztalat alapján fejlesztett, modern szenzorokkal és kamerarendszerekkel szerelik fel. Számos rendszer már mesterséges intelligenciát is használ működése során. Továbbra is kérdéses azonban, hogy az autonóm eszközök – egyes feladatok végrehajtása során – milyen mértékben és minőségben lesznek képesek helyettesíteni az embert, adott esetben a katonákat. Az ember tökéletes helyettesítése nem is lehet cél, hiszen bizonyos döntéseket nem szabad ellenőrizetlenül robotokra bízni. Autonóm járművek alkalmazása esetén szabályozni kell, hogy a jármű „cselekedeteiért” ki a felelős; a felelősségi hierarchiát az alkalmazásba vétel előtt célszerű tisztázni. A járművek tevékenységét és a kezelők döntéseit, parancsait folyamatosan rögzíteni kell annak érdekében, hogy később elemezni lehessen az eseményeket [6].

A fejlesztés és az üzemeltetés magas költsége miatt nem minden esetben célszerű veszélyes körülmények közé küldeni a precíz szenzorokkal és berendezésekkel rendelkező járműveket. Azonban a hosszú idő alatt, magas költséggel kiképzett katonák életének megóvására a legkorszerűbb technológia is feláldozható.

Üzemeltetés közben – legyen bármilyen környezetben is a jármű – kiemelt figyelmet kell fordítani a szenzorok védelmére, amelyek szélsőséges időjárási körülmények között könnyen meghibásodnak. Emiatt az is elképzelhető, hogy nem valós adatokat közölnek, sőt, az irányításuk is nehézségbe ütközhet, holott pontosan az ilyen környezettől, és annak káros hatásától mentené fel a katonát az autonóm rendszer.

A szakképzett operátor (kezelő) alapfeltétele az autonóm járművek alkalmazásának. Ezeknek a katonáknak a harcászati felkészítésen és kiképzésen túl, időigényes és költséges a kiképzésük, gyakorlatra van szükségük ahhoz, hogy képesek legyenek megfelelően irányítani a járműveket [1].

Azok a katonák, akik kezelik és felügyelik a járműveket kevesebb stresszt élnek át, mint azok, akik maguk hajtják végre a feladatokat a terepen. Ha az irányított jármű meghibásodik, vagy súlyosan megsérül, esetleg mozgásképtelenné válik, a kezelője átveheti egy másik jármű felett az irányítást, tovább folytatva a műveletet. Fontos figyelembe venni azt a tényezőt is, hogy az operátorok eltérően viselkednek és döntenek, ha közvetlenül nem a saját életük van veszélyben [6].

A jelenleg katonai alkalmazásban lévő autonóm járművek önálló döntéshozatalra még teljes mértékben nem alkalmasak, az összefüggéseket nem képesek pontosan felismerni, ennek megfelelően az általuk elvégzett feladatokért teljes mértékű „felelősség” nem terhelheti az eszközöket. Megfelelő autonómiával és felhatalmazással rendelkező járművek képesek arra, hogy önállóan hírártás el a veszélyeket, például baleseteket előzzenek meg. Ha egy jármű nem képes a megfelelő helyzetfelismerésre, nem veszi figyelembe a környezetében tartózkodó személyeket, akkor döntései veszélyeztetik a katonákat és a civil lakosságot is [7]. Városi környezetben alkalmazott járműveket, feladatvégrehajtásuk során, akár szándékosan is zavarhatja a civil lakosság. Ha a jármű kezelője nem tartózkodik

annak közelében, akkor az eszköznek önállóan kell fellépnie a zavaró tényezők ellen. Ennek a reakciónak a lehető leghumánusabbnak kell lennie, ezekben a helyzetekben főként hangjelzés alkalmazása képzelhető el.

AZ AUTONÓM JÁRMŰVEK KATONAI ALKALMAZÁSA

Az autonóm terepjáró járművek alkalmazási területei két nagyobb tevékenységi csoportra bonthatók. Ez a csoportosítás nem fedi le teljes mértékben azokat a területeket, ahol katonai alkalmazás, üzemeltetés történik, tanulmányunkban nem térünk ki a fegyverrel ellátott járművekre és a harci alkalmazásra. Olyan területeket vizsgálunk, ahol már rendszerben van a technológia, felhasználói tapasztalattal rendelkezünk, valamint olyan területekről is beszámolunk, ahol vélhetőleg további fejlesztés szükséges.

A két fő vizsgált tevékenységi csoport: a harctámogató műveletek és a logisztikai feladatok. A harctámogató műveleteken belül kitérünk a felderítésre, aknamentesítésre és a műszaki feladatokra alkalmazott autonóm rendszerekre; a logisztikai feladatok körében pedig megvizsgáljuk, hogyan illeszkednek az autonóm járművek az oszlopmenetek végrehajtásába, hogyan használják fel a katonák ezeket az eszközöket utánpótlás szállítására, és nehéz terhek hordozására.

HARCÁTMOGATÓ MŰVELETEK

FELDERÍTÉS

Kutatásaink során több, a felderítéshez köthető alkalmazási tapasztalatot találtunk: épületek átvizsgálása, városharcászat, veszélyes terület vagy terepszakas felderítése, kihelyezett megfigyelésre alkalmazott járművek. E feladatok végrehajtása során a katonák közvetlen életveszélyben vannak, az autonóm felderítésre képes járművek ezeken a területeken tudják a legmegbízhatóbban helyettesíteni a katonákat. A tevékenységek közben nem feltétlenül szükséges, hogy kizárólag az autonóm jármű hajtja végre a műveleteket. Megoldás lehet, hogy a katonákkal együttműködve a robotjármű elvégzi a kockázatosabb felderítést, majd az általa gyűjtött adatok alapján a katonák meghozzák a döntést. Ennek alkalmazási példáját jelenthetik azok a feladatok, amelyeket épületekben, vagy városharcászat során végeznek. A robotjármű először átvizsgálja az épület környezetét, majd a folyosókat és a szobákat. Emberi élet nem kerül veszélybe, hiszen a jármű végzi a műveletet. Ilyen esetekben elegendő az alacsony autonómiájú járművek alkalmazása, mivel a kezelő kis távolságban van, a kommunikációnak folyamatosnak, a jeladásnak jó minőségűnek kell lennie. Ez azért szükséges, mert a kezelőnek valós idejű, azonnali információra van szüksége, valamint egy esetleges támadás során gyorsan kell reagálni, nem engedhető meg a késedelem. Ezekre a feladatokra kis méretű járműveket alkalmaznak, mivel kicsi a hatótávolság, nincs szükség komolyabb berendezésre, elegendő a kamera- és a kommunikációs rendszer. A magas kockázatú műveletekben általában távvezérlést alkalmaznak. Ezek a rendszerek jelenleg még nem annyira fejlettek, hogy a magasabb fokú autonómiát széles körben alkalmazzák.

A 7. ábrán látható Cobra MK2 I autonóm jármű felderítésre és EOD (Explosive Ordnance Disposal – robbanóanyag hatástalanítása) műveletekre is alkalmazható. Kis mérete és 5,6 kg-os tömege miatt könnyen szállítható, akár egy hátizsákban is elfér. Rugalmassá teszi a használatát,



2. táblázat. A Cobra MK2 I UGV főbb műszaki adatai [9]

Magasság	170 mm
Szélesség	390 mm
Hosszúság	360 mm
Tömeg	5,6 kg
Maximális sebesség	7,5 km/h
Működési időtartam	2,5 h
Akkumulátor	Lítium-ion, 15 V
Hatótávolság	vezetéssel 200 m, rádiókapcsolattal 250 m



7. ábra. Cobra MK2 I UGV [8]

hogy gyorsan, szinte percek alatt összeszerelhető [8]. Felépítménye a feladat függvényében moduláris.

Felderítési feladatra nem csak egymagában alkalmazott jármű képes. Amennyiben kisebb rajokba, csoportokba szervezik ezeket az eszközöket, nagyobb területet képesek lefedni. Ugyanazt a területet rövidebb idő alatt képesek felderíteni, vagy adott idő alatt nagyobb területet fésülnék át. Az autonóm járművek más autonóm eszközzel is képesek az együttműködésre és feladatvégrehajtásra. Ennek egyik alkalmazási példája az UAV-kel (Unmanned Aerial Vehicle), vagyis a pilóta nélküli légi járművekkel végrehajtott művelet. Az UAV-k alaprendeltetése lehet a felderítés, kijelölt területek, utak megfigyelése és az ezen a területek felett történő járórozás. Olyan UGV-kat (Unmanned Ground Vehicle – vezeték nélküli szárazföldi jármű) is kifejlesztettek, amelyek képesek az UAV-k szállítására és indítására; ezek többsége helyből felszálló forgószárnyas repülőeszköz. Ha a járművek felderíthetőségét vizsgáljuk, megállapíthatjuk, hogy a szárazföldi autonóm járművek jobban álcázhatók, mint a levegőben mozgó UAV-k, azonban fontos kiemelni, hogy a felderítésre használt UAV-k jobb manőverező képességgel rendelkeznek szárazföldi társaiknál. Az autonóm szárazföldi járművek felderítési feladatait kiegészíthetik az UAV-k, kiválthatják, kiegészíthetik azok műholdas helymeghatározó rendszer által küldött adatait is. Nem mindig állnak rendelkezésre a legfrissebb adatok, sok esetben biztonságosabb, megbízhatóbb forrás lehet az UAV-k által közvetített adatok figyelembevétele. Általánosságban elmondható, hogy a kisebb robotrepülőgépek kis hatótávolsággal rendelkeznek, emiatt is hasznos alkalmazásnak bizonyul az UGV általi szállításuk [1].

A 8. ábrán látható Sharp Claw-rendszer az egyik lehetséges megvalósítása annak, hogyan lehet a szárazföldi és a



8. ábra. Sharp Claw 1 és 2 típusú UGV [10]

légi alkalmazású autonóm eszközöket együtt alkalmazni. A rendszer magába foglalja az alábbi eszközöket:

- Sharp Claw 2 hordozó jármű,
- Sharp Claw 1 jármű,
- quadcopter.

A hordozó jármű gumikerekes, 6x6-os kerékképletű teherjáró jármű, amely könnyű páncélzattal rendelkezik. Ez a jármű a célterületre szállítja, és a felépítményén hordozza a kisebb Sharp Claw 1 járművet, valamint a quadcoptert. A Sharp Claw 1 gumiláncalpas kivitelű jármű fegyverzete egy 7,62 mm-es géppuska, amelyet az önvezérlő rendszer ellenére is csak ember kezelhet. A felderítési tevékenységet segíti a quadcopter alkalmazása, mivel az eszköz képes a helyből fel- és leszállásra, ezáltal alkalmas kis hatótávolságon belül megfigyelési feladatokra [2].

3. táblázat. A Sharp Claw 1 UGV főbb műszaki adatai [9]

Tömeg	120 kg
Magasság	600 mm
Hosszúság	700 mm
Működési tartomány	1000 m

A TheMIS KX-4 LE Titan UGV (9. ábra), szintén alkalmazható UAV hordozására. Az UAV képes a jármű felépítményéről fel-, és leszállni, így megfigyelésre és felderítésre egyaránt alkalmazható [12].

4. táblázat. A TheMIS KX-4 LE Titan UGV műszaki adatai

Tömeg	850 kg
Maximális sebesség	35 km/h
Meghajtás	elektromos motor (diesel generator/Li-ion akkumulátorok)
Működési időtartam	diesel: 6-8 h, akkumulátor: 2-5 h
Működési tartomány	2500 m

Az UAV és UGV közös alkalmazása is a felderítés egyik formájának tekinthető, ezért a megfigyelő járművek fejlesztése is ebben az irányban halad. Ilyen feladatok esetén is alkalmazható a több járműből álló csoport, amely a könnyebb álcázhatóság érdekében főleg kis méretű járművekből áll. Az álcázás elengedhetetlen, hiszen a jármű telepítése után az a cél, hogy rejtve maradjon, és minél hosszabb ideig tartózkodjon egy helyben. Fontos, hogy a művelet



9. ábra. TheMIS KX-4 LE Titan UGV, fedélzetén egy quadcopterrel [12]

tervezésénél tisztában legyünk azzal, hogy a jármű képes lesz-e az adott útvonalon végig haladni, mivel kis méretéből adódóan nehéz terepen nem tud közlekedni. A nem közvetlen irányítás miatt magasabb fokú autonómia biztosítása javasolt a járművek számára. A jármű elérve célállomását, akár hetekig is képes adatokat gyűjteni. Veszélyes lehet azonban, ha a járművet felfedezik, esetleg átveszik felette az irányítást. Mindenképpen szükséges a jármű védelme ebből a szempontból is.

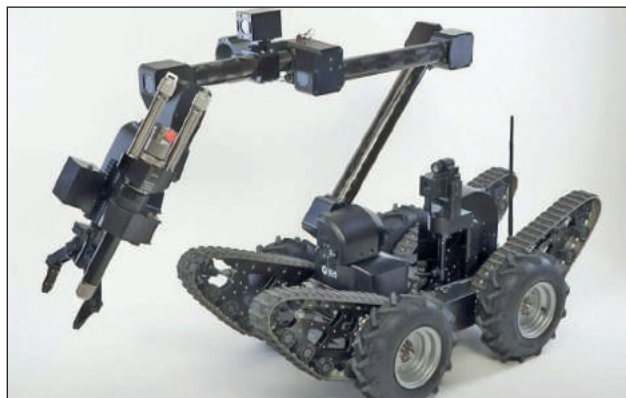
Felderítési feladatokat ellátó autonóm járművek közé sorolhatók azok az eszközök, amelyek meghatározott terület (pl. határsáv, demilitarizált övezet) ellenőrzésére alkalmasak. Ezen járműtípusok közé tartoznak a járőrrobotok, amelyeket elsősorban határvédelmi célra, missziós területeken járőrfeladatok ellátása alkalmaznak. Közös jellemzőjük az elektromos hajtásból eredő halk működés, és kis méret. A szükséges berendezések, szenzorok, vezérlőrendszerek elhelyezése érdekében a jármű kiválasztása során figyelembe kell venni annak méretét. Fontos továbbá, hogy a terepjáró képesség a kis méretéből adódóan ne csökkenjen, és a jármű szükséges páncélvédelme is megoldott legyen [3].

MŰSZAKI FELADATOK

Napjainkban a műveleti területeken jelentős problémát okoznak a járművek, és a személyi állomány ellen alkalmazott robbanószerkezetek. Az aszimmetrikus hadviselésben az egyik legnagyobb veszélyforrást az IED-k (Improvised Explosive Devices – rögtönzött robbanóeszközök) használata jelenti. Ezek a házi körülmények között előállítható robbanószerkezetek olcsók, elkészítésükhöz nem kell magas szintű szakképzettség. Szinte bárhova elhelyezhetők, épületekben, terepen is alkalmazhatók és nehezen felismerhetők, így nagy veszélyt jelentek a katonákra és a járművekre egyaránt. Az IED-k, egyszerű felépítésük és olcsó előállításuk ellenére a legfejlettebb technikai eszközöket is képesek megsemmisíteni. Mivel az ilyen robbanószerkezeteket bárhova el lehet helyezni, a felismerésük és az ellenük történő védekezés nehéz feladat, amely komoly erőfeszítéseket igényel. Az IED-k felkutatásának és hatástalanításának egyik legbiztonságosabb módja az autonóm robotok alkalmazása. Ennek az alkalmazásnak két jellemző típusát mutatjuk be:

- egy kis méretű járművel, távvezérelt rendszerben hatástalanítják a robbanószerkezeteket, aknákat;
- a katonai menetoszlopok előtt haladva egy makro méretű jármű az útvonalon telepített aknákat és egyéb robbanószerkezeteket kutatja fel.

Az aknamentesítési feladatok és a hatástalanítás fokozottan veszélyeztetik a katonák életét és biztonságát.



10. ábra. Iguana E UGV [13]



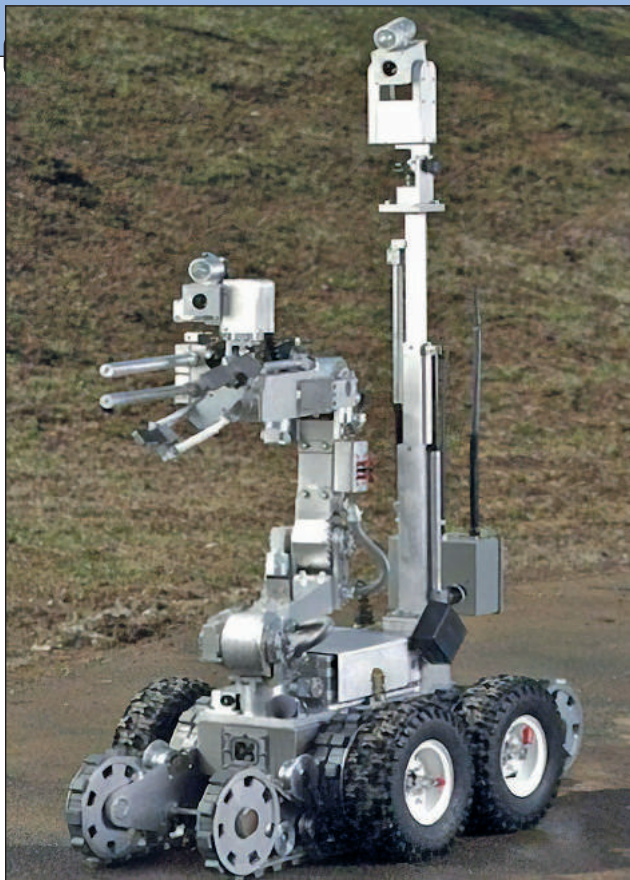
11. ábra. Iguana E UGV alkalmazás közben [13]

A széleskörű szaktudás és a gyakorlat nem garantálja minden mentesítési feladat sikerét. A robotjárművek alkalmazása biztonságosabbá teszi a hatástalanítási feladatokat, hiszen a kezelő elegendő távolságban van a robbanószer-től. Távvezérléssel irányítja az autonóm robotot, amely egy mechanikus kar segítségével végzi feladatát. Ilyen esetekben nincs szükség nagy méretű, nagy autonómiával rendelkező járműre. Természetesen itt is fokozott óvatossággal kell végrehajtani a mentesítést, fontos, hogy a robot tevékenységét megfelelő szaktudással rendelkező katona irányítsa. A tűzszerész robotok általában manipulátor karral és különféle érzékelőkkel rendelkeznek. A kamerarendszer fontos eleme a tűzszerész robotoknak, emiatt lényeges, hogy ezek az eszközök rendelkezzenek olyan infrakamerákkal is, amelyek nemcsak nappal, hanem éjjel is megfelelő képet tudnak közvetíteni a kezelő számára. [5].

A 10. és a 11. ábrán látható Iguana E UGV ember számára nehezen hozzáférhető helyeken képes EOD-műveletekre (EOD – Explosive Ordnance Disposal – robbanószerek szakszerű kezelése) és IED hatástalanításra. Vezérlőegysége könnyű, kezelése egyszerű. A robotkar nagyobb terhek emelésére és mozgatására is alkalmas, emiatt járművekből is képes a robbanószerkezetek kiemelésére [13].

Az ANDROS F-6A tűzszerész robotot (12. ábra) a Magyar Honvédség is alkalmazza robbanótestek felderítésére és hatástalanítására. A robot vezérlőegysége az irányítást és a manipulátor kar mozgatását teszi lehetővé. A vezérlőegységen keresztül követhetők a kamerák képei, valamint leolvashatók a robot szenzorai által gyűjtött adatok. A kamerák 360°-ban forgathatók és 180°-ban dönthetők, jobb rálátást biztosítva a munkaterületre, elősegítve ezzel az eszköz hatékonyabb alkalmazását. Irányítási módjuk lehetővé teszi a vezetékek nélküli és a vezetékes irányítás általi





12. ábra. ANDROS F-6A UGV

munkavégzést is. Hatótávolságuk 300 m, amely mentesítési és hatástalanítási feladatok közben biztosítja a tűzszerész katonák biztonságát [4].

A Magyar Honvédség által szintén rendszerbe állított Telemax tűzszerész robot (13. ábra) – amely rádiótávvezérléssel, valamint optikai kábelrel is irányítható – képes épületekben felderítés és átvizsgálás végrehajtására, továbbá felhasználható gépjárművek átkutatására is. Robbanószerkezetek felkutatására, IED-műveletekre is alkalmazható, de vízlövéssé segítségével EOD-feladatokra, tehát hatástalanításra is képes. A robot 5 kamerája közül 1 db hőkameraként is használható [15].

5. táblázat. A Telemax UGV főbb műszaki adatai [16]

Magasság	750 mm alaphelyzetben
Szélesség	400 mm alaphelyzetben
Hosszúság	800 mm alaphelyzetben, 1600 mm kiemelt helyzetben
Maximális sebesség	4 km/h láncalpas, 10 km/h kerekes járszerkezettel
Működési időtartam	2-4 h
Maximális emelőképesség	20 kg
Hőmérséklet tartománya	-20 °C és +50 °C között

A MACE típusú vizes vágó berendezés az ANDROS F-A6 és a Telemax robotokhoz is kapcsolható, feladata robbanótestek hatástalanítása. A gyújtószerkezetek levágását és a hatástalanítást 700 bar nyomású vízsugárral végzi el.



13. ábra. Telemax UGV [4]

A Magyar Honvédség által beszerzett tűzszerészrobot-készlettel szemben támasztott követelményrendszer:

- általános hadművelleti, harcászati követelmények,
- általános műszaki, technikai követelmények,
- típuskövetelmények.

Az általános hadművelleti, harcászati követelmények között szerepel az összhaderőnemi műveletek harctámogatása, kiszolgáló támogatás során a tűzszerész, felderítési és mentesítési feladatok elvégzése. Általános műszaki és technikai követelményként határozták meg többek között, hogy a berendezés azon szerkezeti egységei, amelyek a szabad hasmagasságát határozzák meg, védettek legyenek. Az ABV szennyező- és a mentesítő anyagok hatásával szemben a tömítő- és szerkezeti anyagok ellenállóak legyenek. További követelmény, hogy -20 °C és +45 °C között, 20 m/s sebességgel mellett is üzemeljen a tűzszerész robot. Típuskövetelményként a készletet képző felderítő, megsemmisítő és szállító-karbantartó utánfutó műszaki paramétereit határozták meg [4].

KATONAI JÁRMŰMOZGÁSOK, MENETOSZLOPOK BIZTOSÍTÁSA

A katonai járműmozgás a veszélyes tevékenységek közé tartozik, különösen művelleti területen, hiszen a bázist elhagyva folyamatosan számítani kell az esetleges támadásra, az utak mellett elhelyezett aknákra, robbanószerkezetekre. Ha a katonai járművek valamilyen fokú páncélvédettséggel rendelkeznek is, az többnyire nem óvja meg teljes mértékben a katonákat és a szállított anyagokat, eszközöket. Az aknák és az IED-k felkutatása, felismerése nehéz feladat, és egy esetlegesen bekövetkező robbanás az egész menetoszlopot megállásra kényszeríti, amely további veszélyforrásokat jelent. Korszerű megoldásként olyan nagy méretű autonóm járművek alkalmazhatók, amelyek a menetoszlop elejére helyezve érzékelik, vagy akár el is működtetik a robbanóeszközöket. E járművek vezérlése a menetoszlopban utánuk következő járműből távvezérléssel is történhet, de megvalósítható olyan módon is, hogy a menetoszlop élén az autonóm jármű önállóan haladjon a kijelölt útvonalon. Ezzel a technológiával megoldható, hogy az esetleg fel nem ismert robbanószerkezetek ne veszélyeztessék közvetlenül a katonák biztonságát. Figyelembe kell azonban venni, hogy ha nem a kijelölt útvonalon, hanem pl. amellel robban fel IED, a menetoszlop továbbra is veszélynek van kitéve. A bekövetkező robbanás ugyanis

lelassíthatja, megbéníthatja a menetet, ez pedig újabb kockázatot jelent. Az autonóm jármű alkalmazása mindenképpen célszerű, de a még hatékonyabb felhasználás érdekében további fejlesztések szükségesek.

Az egyik legjelentősebb fejlesztés ezen a területen az Oshkosh Defence Corporationhoz fűződik. Az amerikai ipari cég hagyományos gépjárművekbe is integrálható technológiát dolgozott ki, amely ezeket a járműveket képessé teszi az autonóm vezérlésre. A TerraMax UGV rendszert felhasználva, a járművek egymást követve, autonóm módon irányítva közlekednek veszélyes útvonalakon. A gyártó tájékoztatója alapján, egyetlen kezelő 5 UGV-t képes egyszerre irányítani. A 6. ábrán látható Oshkosh M-ATV jármű a TerraMax UGV rendszert alkalmazva képes az autonóm működésre, menetoszlopok, konvojok előtt haladva pedig akna- és robbanóanyag-keresést végezhet [17].

LOGISZTIKAI FELADATOK

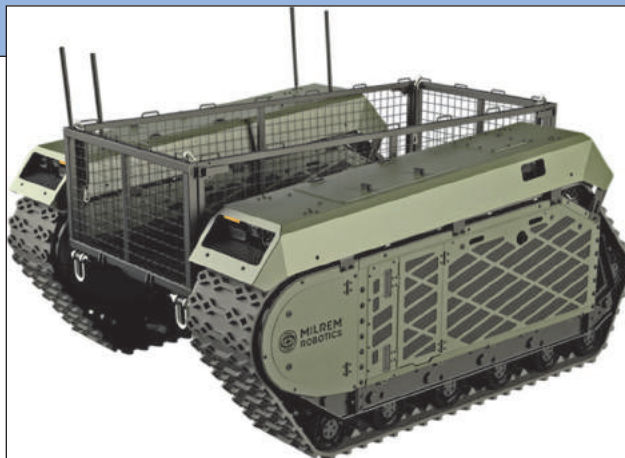
A logisztikai feladatok területén az autonóm járművek alkalmazásának elsődleges célja a katonák különböző feladatainak segítése, kiegészítése és tevékenységének megkönnyítése. Ezeknél a feladatoknál nem a személyi állomány életének közvetlen megóvása az elsődleges cél, bár logisztikai feladatok végrehajtása közben is számítani kell támadásra. Logisztikai területen – különösen a szállítási tevékenységek – során, az autonóm technológia alkalmazása megkönnyíti a katonák munkavégzését gyorsítva és tehermentesítve azt.

SZÁLLÍTÁSI TEVÉKENYSÉGEK

Az autonóm járművek szállítási feladatai közé sorolható többek között a logisztikai áruszállítás, az utánpótlások szállítása és az a feladatvégrehajtás is, amikor az autonóm jármű, járőrözés közben a katonák felszereléseit szállítja. Katonai műveletekben a különböző szállítmányok, eltérő kockázatokat jelenthetnek.

Bázison, laktanyán belüli nagy mennyiségű anyagmozgatás, vagy nehéz teher mozgatása jelentős számú élőerőt vesz igénybe. A rakodási tevékenységeket autonóm járművek is képesek elvégezni tehermentesítve a személyi állományt, de idő és energia takarítható meg azzal is, amikor egy távvezérelt jármű nagyobb raktárakban segíti az anyagmozgatást. Ha az önvezérlő rendszereket tervezett módon alkalmazzuk, a logisztikai műveletek végrehajtása során kevesebb katonára lesz szükség. Az autonóm járművek szállításra történő alkalmazása nemcsak műveleti területen, hanem hazai környezetben, békeidőben is célszerű megoldást kínál.

A szállítási feladatok közé tartozik, amikor egy UGV egy kisebb alegységgel, pl. egy rajjal együtt mozogva hajt végre járőrözést, amelynek során a jármű a katonák felszerelését hordozza, de felépítménye sebesültszállításra is kialakítható. A számos előny mellett azonban, ennél az alkalmazási területnél megoldásra váró problémák is jelentkeznek. Pozitívan hat a katonák feladatvégrehajtására, ha nem kell a teljes felszerelést magukkal vinniük, így kevésbé fáradnak el, jobban tudnak összpontosítani a küldetésükre. Az alkalmazás hátrányaként említhető azonban, hogy a harc megvívásához, vagy a túléléshez szükséges anyagokat és felszereléseket nem célszerű egy járművön tartani. Fontos, hogy az eszközök minden pillanatban a katonánál legyenek, hiszen egy esetleges támadás során nincs idő a járműről lerakodni. UGV-vel csak olyan anyagokat és eszközöket célszerű szállítani, amelyek nem tartoznak ebbe a



14. ábra. A Milrem Robotics által logisztikai célra kialakított TheMIS UGV [18]

csoportba. (Például: tartalék lőszer, nagyobb mennyiségű víz, élelmiszer, ruházat stb.)

A 14. ábrán látható a Milrem Robotics által kifejlesztett TheMIS UGV¹¹-t a katonák felszerelésének hordozására tervezték. Felépítménye változtatható, különböző fegyverrendszerekkel is felszerelhető [18].

Az utánpótlás alegységekhez történő eljuttatása érdekében különböző típusú UGV-eket fejlesztenek. A szállítmányok közül a lőszerutánpótlás kiemelt fontosságúnak tekinthető. Harcérintkezésbe került alegység számára autonóm jármű igénybevétele kiegészítő ellátmányt is lehet küldeni. Az autonóm jármű veszélyes terepszakaszon közlekedve, távvezérelve vagy kijelölt útvonal alapján képes eljutni az alegységhez. Azonban ez az alkalmazás csak akkor lehet sikeres, ha a jármű előre felderített terepen juthat el a célhoz. Az útvonalnak a terepakadályok szempontjából is felderítettnek kell lennie, kiküszöbölve, hogy a nehéz vagy extrém terepviszonyok és az esetleges akadályok jelenléte gátolja a jármű mozgását.

Egy közelmúltban megjelent hír szerint a Budapesti Műszaki Egyetem gépjárműtechnológiai tanszéke önvezető katonai terepjáró fejlesztését határozta el. Olyan autonóm szállító jármű tervezésében gondolkodnak, amely a különböző teherszállítmányokat adott bázisról önvezető üzemmódban juttatja el a műveleti területre, miközben fel kell térképeznie a környezetét, ki kell választania a megfelelő útvonalat, döntenie kell, hogy mely akadályokon tud áthaladni és végül célba kell jutnia. A tervek szerint a BME a Magyar Honvédséggel közösen, néhány éven belül sikeres fejlesztéseket hajt végre [19].

MENETEK VÉGREHAJTÁSA, MENETOSZLOPOK

A műszaki feladatok vizsgálata során kitértünk arra, hogy műveleti területen az anyagszállítási feladatok is veszélyesek lehetnek. Nemcsak a harcoló katonák vannak fokozott veszélynek kitéve, de az utánpótlást szállító logisztikai konvojok is támadások célpontjaivá válnak. Ezért időszerű és fontos kérdés, hogyan válthatják fel a katonákat, gépjárművezetőket az autonóm rendszerek.

A gépjárművezetés civil környezetben is fárasztó, monoton munka, amely folyamatos koncentrációt igényel a járművezető részéről. Műveleti környezetben a járművezető még nagyobb stressznek van kitéve, a folyamatos figyelés nemcsak a közúti forgalomra, hanem az utakon elhelyezett robbanóeszközökre, az esetleges harci érintkezésre is kiterjed. A járművek közötti távközöket pontosan be kell tartani, nem engedhető meg a menettől való leszakadás és nem lehetséges bármelyik útszakaszon rövid pihenőt tartani. Ezek a tényezők mind fárasztják a járművezetőket, akiknek a stressz és fáradtság miatt lassul a reakcióidejük.



15. ábra. TerraMax rendszer alkalmazása logisztikai feladatot ellátó menetoszlopban [17]

Erre az általános problémára megoldást jelenthet egy olyan menetoszlop, amelyben autonóm járműveket alkalmaznak.

A gépjárművezető által is vezethető autonóm járművek rendelkeznek vezetőfülkével annak érdekében, hogy adott esetben emberi személyzet is vezethesse azokat (15. ábra). Kialakításuk lehetővé teszi az ember általi működtetést, de távvezérelve is irányíthatók. Az ilyen járművek fejlesztését és alkalmazását azonban költségessé teszi, hogy az autonóm működéshez szükséges szenzorokat és vezérlőrendszereket is be kell építeni a járművekbe, emellett a hagyományos járművek berendezéseivel is el kell látni azokat [1].

Ha a menetben elől haladó járművet ember vezeti, a többi jármű pedig távvezérelt, vagy követési funkcióval az első mögött halad, előre meghatározhatók a távközök, a sebességet pedig az első jármű határozza meg. Az alkalmazás előnye, hogy így módon több gépjárművezető munkája is kiváltható. Ez a megoldás elsősorban bázison belüli és bázisok közötti mozgásra, katonai menet végrehajtására alkalmas. Az önvezető járművekben több hely kialakítható a szállítandó árunak, hiszen erre a célra az utastér is felhasználható. Az alkalmazás hátrányaként említhető egy váratlan technikai meghibásodás elhárításának nehézsége, hiszen adott pillanatban nem áll rendelkezésre elegendő személyzet a feladat megoldásához, továbbá támadás esetén szinte védtelen a kizárólag autonóm járművekből álló menetoszlop.

ÖSSZEGZÉS

A katonai járművek nyílt terepszakaszokon a talajútról leterve is képesek közlekedni. Ez a képesség a katonai alkalmazású autonóm járművektől is elvárt. Ahhoz, hogy ezeket a járműveket eredményesen alkalmazhassák, a terepen történő haladáshoz ismerni kell a terepadatokat, amelyhez megfelelő felderítés szükséges.

Az autonóm járművek alkalmazásából származó előnyök és hátrányok mérlegeléséből levonható következtetések egyike, hogy a közeljövőben nem várható az autonóm technológia tömeges alkalmazása. Az autonóm robotok még hosszú ideig nem lesznek teljesen önállóak, ezen a téren további tapasztalatok gyűjtése és további fejlesztések szükségesek. Az ilyen eszközök megjelenéséig lényeges az emberi felügyelet, nem bízható minden döntés (például tűzki-váltás) az autonóm eszközökre. A felhasználók felelőssége, hogy az eltérő feladatokra különböző autonómiafokon álló járműveket válasszanak ki és alkalmazzanak.

A közeljövő modern hadviselésében az autonóm katonai járművek a meghatározott feladatok elvégzésében egyre aktívabb szerephez jutnak, amely a katonai feladatok hatékonyabb végrehajtását eredményezheti.

FORRÁSOK

- [1] Koleszár Béla. *Földi robottechnikai eszközök konstrukciós és alkalmazási kérdései, különös tekintettel a békefenntartó missziók biztonságának növelésére*. Doktori (PhD) értekezés. Budapest: NKE, 2011;

- [2] Trautmann Balázs. „Fémharcosok” *Honvédelem.hu* 2016. 06. 24. Elérés: 2020. 11. 10. <https://honvedelem.hu/hatter/femharcosok>;
- [3] Kucsera Péter. *Autonóm működésű szárazföldi robotok védelmi célú alkalmazása*. Doktori (PhD) értekezés Budapest: NKE, 2009;
- [4] Gácsér Zoltán. „Tűzserész és felderítő robotok a magyar haderőben” *Hadmérnök* 2, Robothadviselés 7. tudományos szakmai konferencia különszám (2007 nov.);
- [5] Vizi Pál Gábor. „Kutató robotok a haditechnikában – bombakereső robotok és különböző érzékelők” *Hadmérnök* 4, 1. sz. (2009. március): 284–298;
- [6] Koleszár Béla. „A robothadviselés etikai kérdései II.” *Katonai erkölcs* *Hadmérnök* 5, 1. sz. (2010. március): 266–283;
- [7] Koleszár Béla. „A robothadviselés etikai kérdései III. Robotok helyett emberek?” *Hadmérnök* 5, 4. sz. (2010. december): 147–162.;
- [8] ECA Group. *Cobra MK2 I /UGV/ Unmanned Ground Vehicle* Elérés: 2019. 08. 15. <https://www.ecagroup.com/en/solutions/cobra-mk2-i-ugv-unmanned-ground-vehicle>;
- [9] Shaun C Connors, Christopher F Foss & Melanie Rovey. *IHS Jane's Land Warfare Platforms Logistics, Support & Unmanned 2016–2017*;
- [10] „Sharp Claw 2 UGV 6x6 Unmanned Ground Vehicle” *Army Recognition.com* 2016.12.14. Letöltve: 2020. 02. 03. https://www.armyrecognition.com/china_chinese_unmanned_aerial_ground_systems_uk/sharp_claw_2_ugv_6x6_unmanned_ground_vehicle_technical_data_sheet_specifications_pictures_video_11412165.html;
- [11] Shaun C Connors, Melanie Rovey & Jon Hawkes. *IHS Jane's Land Warfare Platforms Logistics, Support & Unmanned. 2019–2020*;
- [12] Milrem Robotics. *THEMIS KX-4 LE Titan* Elérés: 2019. 06. 14. <https://milremrobotics.com/product/themis-kx-4-le-titan>;
- [13] ECA Group. *Iguana E /UGV/ Unmanned Ground Vehicle* Letöltve: 2019. 08. 11. <https://www.ecagroup.com/en/solutions/iguana-e-ugv-unmanned-ground-vehicle>;
- [14] Army Technology. *Northrop Grumman Remotec* Letöltve: 2020. 02. 03. <https://www.army-technology.com/contractors/mines/northrop-remotec>;
- [15] Szűcs László. „Tanulják a robot kezelését.” *Honvédelem.hu* 2008. 01. 24. Letöltve: 2020. 11. 10. <https://honvedelem.hu/cikk/tanuljak-a-robot-kezeleset>;
- [16] Shaun C Connors, Christopher F Foss & Damian Kemp. *IHS Jane's Land Warfare Platforms Logistics, Support & Unmanned. 2012–2013*;
- [17] [HTTPS://OSHKOSHDEFENSE.COM/ENGINEERING-SOLUTIONS/TERRAMAX-UNMANNED-GROUND-VEHICLE-TECHNOLOGY/#PERFORMANCE](https://oshkoshdefense.com/engineering-solutions/terramax-unmanned-ground-vehicle-technology/#performance) (Letöltve: 2019. 09. 02.);
- [18] Milrem Robotics. *The THEMIS UGV* Letöltve: 2019. 09. 02. <https://milremrobotics.com/themis>;
- [20] Önvezető katonai tereparató fejleszt a műszaki egyetem. Letöltve: 2020. 10. 10. <https://infostart.hu/belfold/2020/10/10/onvezeto-katonai-terepararot-fejleszt-a-muszaki-egyetem>;
- [21] Shaun C Connors, Christopher F Foss & Melanie Rovey. *IHS Jane's Land Warfare Platforms Logistics, Support & Unmanned 2017–2018*.

JEGYZETEK

- 11 THEMIS (Tracked Hybrid Modular Infantry System – lánctalpas hibrid moduláris gyalogos rendszer),UGV (Unmanned Ground Vehicle).

Dr. Óvári Gyula* – Fehér Krisztina**

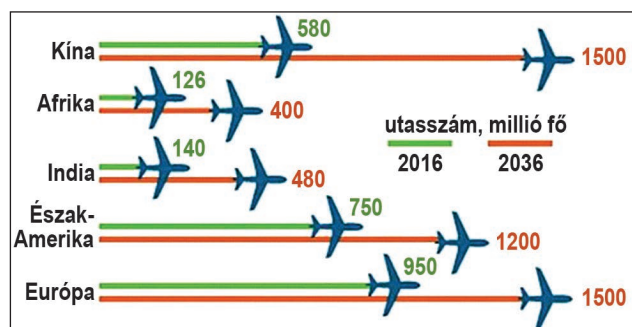
Repülőgépek elektromos meghajtása – szükségszerűség kompromisszumokkal

II. rész

A tanulmány első része a repülőeszközök működtetéséhez alkalmazott energiahordozók kitermelési adatait elemezte, majd felvázolta a világ országainak jelenlegi és az elkövetkező évtizedekre vetített kőolajsükségletét. A szerzők megvizsgálták a repülés hatását a környezetre, és az adatokat összevetették más környezet-, illetve klímakárosító tevékenységekkel. A második rész rávilágít a dinamikus növekvő légi forgalom és a környezetvédelmi szabályozás ellentmondásaira, valamint magyarázatot ad az alternatív energia bevezetésének kényeszerű lassulására. Végül a tanulmány a 2050-ig tartó időszak fejlődési irányait vázolja fel.

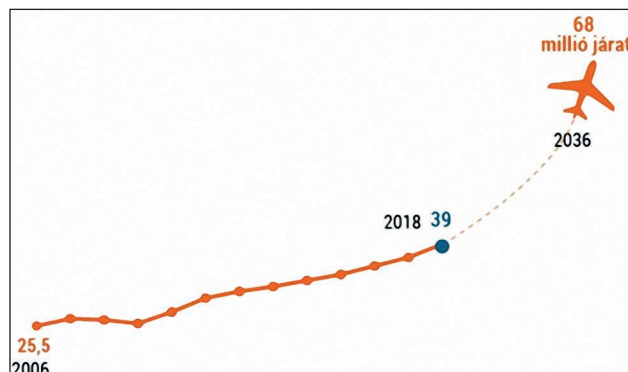
A DINAMIKUSAN NÖVEKVŐ LÉGI FORGALOM ÉS A KÖRNYEZETVÉDELMI SZABÁLYOZÁS ELLENTMONDÁSAI

Az előrejelzések szerint – minden indokolt és sürgető környezetvédelmi megfontolás ellenére – az elkövetkező 2-3 évtized intenzív népességnövekedése miatt a légi forgalom Földünk valamennyi régiójában dinamikusabban tovább növekszik (12. ábra).



12. ábra. Földünk légi forgalmának várható növekedése 2016–2036 között

A fenti igény folyamatos biztosítására gyakorlatilag valamennyi – a 2020-as koronavírus-járványig mértékadónak elfogadott – szakmai prognózis egybehangzóan a hagyományos repülőgépek további nagyszámú építésével, felújításával számol. Ennek során minden típusnál meghatározó követelmény az üzemanyag-fogyasztás és a környezetkárosítás érdemi csökkentése, amely ugyan teljesül a megjelenő új típusok esetében, az elért eredményeket azonban teljes mértékben annulálja a légijármű-park nagymérvű, számszerű gyarapodása. Az előrejelzések szerint – elsősorban a keleti gazdaság fellendülése miatt – 2037-re a repülési ágazat elérheti a 8,2 milliárdos éves utasforgalmat



13. ábra. A légi járatok számának növekedése a 2006–2036 közötti időszakban (Forrás: HVG)

(amely 3,5%-os éves növekedést jelent). Várhatóan az ázsiai és a csendes-óceániai régióban következik be a legnagyobb növekedés a következő 20 évben, és az új utasok több mint fele is innen származhat. Mindez szükségessé teszi a légi forgalom folyamatos növelését az elkövetkező években. Ezért 2036-ban már – a 2006-os napi 70 000-hez képest – várhatóan 184 000 szállító repülőgép lesz a levegőben, így szükségszerűen ugyanezen időszak alatt, éves viszonylatban a járatszámok is hasonló ütemben növekednek majd (13. ábra).

A járatszámok 20 év alatt bekövetkező, több mint 160%-os emelkedésének prognosztizálható következményei közül szem előtt kell tartanunk:

- kedvező, hogy várhatóan 100 millió új munkahelyet teremt,
- kedvezőtlen, hogy ez alatt a nemzetközi légi közlekedés tüzelőanyag-felhasználása a 2010-es szinthez képest 2,8–3,9-szeresére nő.

Természetesen a jelenlegi, de döntően a várható globális légszennyezés ismeretében, már a 2013-as ICAO (Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet) közgyűlése elfogadta azt a határozatot (A38-18), amelynek deklarált célkitűzése, hogy az ICAO és tagállamai – az érintett szervezetekkel együttműködve – törekedjenek a nemzetközi légi közlekedés globális nettó szén-dioxid-kibocsátásának 2020-as szinten történő befagyasztására. (A program neve *Carbon Neutral Growth from 2020* – Szén-dioxid-semleges növekedés 2020-tól).

A 2015 decemberében Párizsban megtartott klímakonferencián (COP21) a résztvevő államok vállalták, hogy (az ipari forradalomtól 2100-ig terjedő időszakban mért) a globális átlaghőmérséklet-emelkedés 2 °C alatt tartása érdekében 2050-ig a CO₂-kibocsátást egyensúlyba hozzák a természet üvegházhatású gázokat megkötő képességével.

* Egyetemi tanár, NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék. ORCID: 0000-0002-9876-6760

** Tanársegéd, NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék. ORCID: 0000-0002-5057-733X

(Azaz a kibocsátást olyan szintre csökkentik, amelyet a természeti folyamatok meg tudnak kötni, így lényegében karbonsemleges globális gazdaság jöhetne létre.) A cél elérése érdekében a fejlett gazdasággal rendelkező államok 100 milliárd dollár támogatást biztosítanak a fejlődő államok részére. A kitűzött célok teljesülését öt évente vizsgálják felül.

Ezt követően 2016-ban, több mint 70 ország képviselőjének aláírásával született egy, a klímaegyezményektől függetlenül, önkéntes alapon működő megállapodás a 2020 utáni repülés okozta nettó emisszió növekedés megakadályozása érdekében. Így, bár a növekvő számú légi jármű egyre több szén-dioxidot bocsát ki, de a légitársaságoknak – az iparosított országokhoz hasonlóan – kötelező lesz kibocsátási kvótákat vásárolniuk. Kedvezőtlen, hogy ezt a megállapodást CORSIA-nak (Carbon Offsetting and Reduction Scheme of International Aviation – a nemzetközi légi közlekedés kibocsátás-kompensációra és a kibocsátás-csökkentésre vonatkozó rendszere) rövidített megállapodást:

- Kína – ahol a közeljövőben a légi utasforgalom robbanásszerű növekedését várják – nem írta alá,
- az Európai Unió nem tartja elég szigorúnak a korlátozást, formálisan ellenezi azt,
- a CORSIA csak a nemzetközi légi forgalomra, és ezen belül is kizárólag a merevszárnnyú légi járművekre vonatkozik, de a katonai repülést nem érinti.

A programban részt vevő vállalatok a szén-dioxid-kibocsátásuk kompenzálására a szén-dioxid-piacon ún. karbonkrediteket (Carbon Crediteket) vásárolnak. A folyamat fontosabb elemei:

- a légitársaságok, vagy a repülőgép(ek) üzemeltetői követik és rögzítik a szén-dioxid-kibocsátásukat (minden tonna elégetett tüzelőanyag egységesen 3,06 tonna szén-dioxid-kibocsátást jelent);
- a légitársaságok az ellenőrzött és független ellenőrző szervezetek által is jóváhagyott kibocsátási jelentéseiket benyújtják az országuk illetékes kormányzati szerveihez, amelyek az ICAO-val egyeztetve értesítik az adott légitársaságot, mekkora mennyiségű szén-dioxid-kibocsátást kell ellentételezniük. Az összeggel a világ bármely pontján klímaprojektek (energiahatékonysági megoldások, megújulóenergia-kutatás, erdőtelepítés stb.) támogathatnak. E projekteknek nemzetközi szabályozóknak megfelelően kell bizonyítaniuk a tényleges szén-dioxid-kibocsátást csökkentő hatásukat;
- egy tonna szén-dioxid-kibocsátás „megtakarítás” egy szén-dioxid ellentételezési egységnek, karbonkreditnek felel meg, amit a szén-dioxid piacon (Carbon Market) független közvetítők (brókerek, bankok) közreműködésével forgalmaznak. A légitársaságok kibocsátásuk és megtakarításuk különbözetét megfelelő mennyiségű karbonkredit megvásárlásával kompenzálhatják, amelyet felhasználhatnak plusz széndioxid-kibocsátásuk ellentételezésére;
- a szén-dioxid-semleges növekedés abban az esetben valósul meg, amennyiben a légitársaságok által megvásárolt karbonkrediteket lefedik a nemzetközi légi közlekedés 2020-as bázisszéndioxid-kibocsátásához képest létrejövő növekményt.

Mindezek mellett meghatározó fontosságú az alternatív és megújuló energiák (bio-, nap-, elektromos, nukleáris energia stb.) repülésben történő tényleges, széleskörű gyakorlati alkalmazását lehetővé tévő megoldások további folyamatos és intenzív kutatása.

A Föld országai napjainkban valamivel több, mint 26 000 db, különböző típusú és korú (köztük számos vadonatúj) hagyományos, belső égésű erőgépekkel meghajtott polgári

repülőgépet működtetnek, amelyeknél nem sokkal kevesebb a katonai légijármű-park állománya sem.

A megismert szállítási igény növekedés kielégítésére, 2010 után a legnagyobb repülőgépgyártók, átfogó kutatásaik alapján meglehetősen egybehangzó, napjainkig reálisnak tekintett prognózisokat készítettek az előttük álló két évtizedre várhatóan igényelt és eladható légi járművek mennyiségéről, illetve ezen belül a számításba vehető kategóriákról. Ezekben a tervezett programokban az is közös, hogy a szigorú előírásokra tekintettel javuló minőségű, kisebb fogyasztású, kevésbé környezetszennyező, de – tényleges alternatíva hiányában – hagyományos, belső égésű motorral meghajtott légi járművek építésével számolnak:

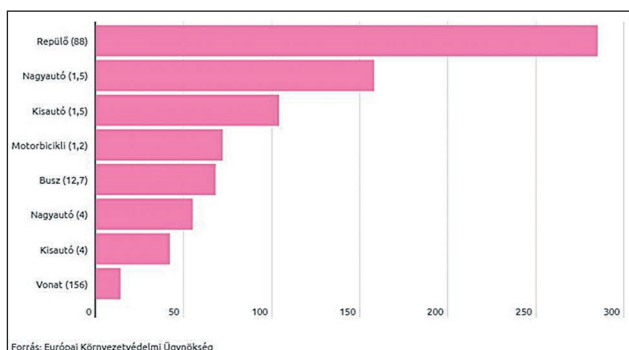
- a Boeing repülőgépgyártó vállalat átfogó vizsgálatai szerint 2014–2034 között, világviszonylatban 36 000 repülőgép megépítésére lesz igény, amely 5200 milliárd USD-os piacot jelent. Előrejelzésük szerint a legtöbb új repülőgépet a Kínát is magába foglaló ázsiai-óceániai térség igényli, ahol a következő húsz évben 13 000 repülőeszköz állhat forgalomba. Emellett előrehaladott szuperszonikus és hiperszonikus utasszállító repülőgép-fejlesztést is folytatnak. (E tervek készítésekor még nem volt ismert a 2018-ban és '19-ben történt Boeing-737MAX katasztrófák következtében a típus földre kényszerülése, majd emiatt a számottevő megrendeléstörlesztés okozta kényszerű gyártáskapacitáscsökkentés.)
- az orosz Egyesült Repülőgépgyártó Vállalat (Объединенная Авиастроительная Корпорация – OAK) 2017-ben kiadott prognózisa 2040-ig mintegy 41 800 darab új repülőgép megépítését tartja szükségesnek, 2017-es áron 5700 milliárd USD piaci értékben.
- az Airbus 2038-ig összesen 39 000 új repülőgépre lát igényt, amely a jelenlegi szolgálatban álló flotta több, mint kétszerese lehet. Átlagosan 4,3%-os éves forgalombővüléssel számoltak. Ez alapján a jelenlegi mintegy 23 ezer légi járművet számláló aktív flotta 48 000-re bővíthet, amiből 39 000 vadonatúj beszerzés, 8700 pedig ma is meglévő repülőgép lesz.

Megállapítások:

- A fent említett géptípusok közül – hosszú műszaki és/vagy naptári üzemidejük miatt – sok várhatóan repülni fog még a 2060–2070-es években is;
- előrejelzések szerint mindegyik 550 000 (a Boeing szerint 2038-ig 645 000) új pilótát és 640 000 műszaki dolgozót kell a légi közlekedési ipárnak felvennie;
- az igények növekedése azonban szükségszerűen a repülőterek kapacitásbővítését is igényli. Az Eurocontrol szerint 111 repülőter átlagosan 16%-os bővítést tervez, amelyből a 20 legnagyobb repülőtér 28%-os kapacitásfejlesztést kíván végrehajtani. Az EU 17 tagországában – visszafogott forgalomfejlődéssel számolva is – 1,5 millió repüléssel többre lesz igény, mint amennyit jelenleg képes kiszolgálni, és mindez 160 millió utast érint.

A jelenlegi és a közeljövőben alkalmazott repülőeszközök környezetszennyezése lehetséges mértékű korlátozásának kikényszerítését esetenként a szokásjogban gyökerező szabályozási ellentmondások, anakronizmusok is késleltetik (amit a légitársaságok természetesen igyekeztek fenntartani). Ilyenek például:

- a légitársaságok a kerozin után nem fizetnek forgalmi adót, amely eleve árelőny számukra a többi közlekedési ágazathoz képest;
- a légi forgalom egységnyi (pl. utaskilométerenkénti) szén-dioxid-kibocsátása ugyan kettő-négyszerese a személygépkocsikénak, nyolcszorosa a távolsági au-



14. ábra. Különböző közlekedési ágazatok CO₂-kibocsátása (utaskilométerenként, grammal) (Forrás: Európai Környezetvédelmi Ügynökség)

többszöröse és akár több mint harmincszorosa is lehet a vasútnak (14. ábra). A legtöbb országban, uniós szabályozás alapján – a kerozinra mégsem vehetnek ki jövedéki és/vagy ásványolajadót;

- a nemzetközi repülőjegyek is forgalmiadó-mentesek;
- a nemzetközi repülés (illetve hajóforgalom) szabályozásának további anomáliája, hogy jelenleg még nem érvényesek rá a klímaegyezmények kötelező érvényű, üvegházhatást okozó gázkibocsátásra vonatkozó rendelkezései. Az országok között, de különösen a nemzetközi vizek felett közlekedő repülőgépek emissziójáról ugyanis nem egyértelmű, hogy melyik ország kvótájába sorolható (az indulási, a célországéba, vagy amelyik fölött éppen repül). A belföldi járatok esetében ez a besorolás a kiotói egyezmény alapján szabályozott, de ezek hatása lényegesen kisebb a nemzetközi desztinációkénál.

Az EU a 2050-re elérni kívánt karbonsemlegesség biztosítására, a közlekedési koncepciójában célul tűzte ki az egységes kerozinadó bevezetését, amelyhez az új összetételű Európai Bizottságnak, ötéves megbízatása alatt meg kell hoznia a szükséges döntéseket. Ez a követelmény nem független a Nyugat-Európában, különösen a skandináv államokban felerősödött – döntően rövid és középtávú (1500 km-ig) – repülőutak elleni civil környezetvédő mozgalmak hatásától. Az Európai Uniónak már 5 országa, (Ausztria, Franciaország, Németország, Olaszország, Svédország) valamint az Egyesült Királyság vezetett be valamilyen légiközlekedési adót. A Természetvédelmi Világalap (WWF) ezért egy olyan, egész Európára érvényes, öt éven belül teljesítendő fenntarthatósági egyezmény elfogadását sürgeti, amely konkrét célokat meghatározva integrálja a klímaváltozás, a természetvédelem és a fenntartható fejlődés szempontrendszerét, illetve követelményeit.

AZ ALTERNATÍV ENERGIA BEVEZETÉSÉNEK KÉNYSZERŰ LASSULÁSA

Ma már vitán felül áll, hogy a nyersanyagforrások elapadása és az okozott környezetkárosítás miatt elkerülhetetlen a fosszilis energiahordozók mielőbbi kiváltása károsanyag-kibocsátás-mentes alternatív üzemanyaggal. E cél megvalósítására világviszonylatban hosszú évek óta ígéretes kutatás-fejlesztési projektek futnak, de jelenleg a gyakorlatban még tömegesen alkalmazható megoldás nem ismert. Az is egyértelmű, hogy amennyiben ez megvalósul, az új eszközöket gyártó cégek számára az energiaellátó infrastruktúra, az üzemeltető, valamint a javító-karbantartó kapacitás létrehozása, továbbá a működtetéséhez szükséges több tízmillió képzett humán erőforrás biztosítása hosszú ideig tartó és költségigényes feladat lesz.

A legalább még 30–40 évig működő hagyományos légi jármű-park jelentős energiaigénye, illetve a kitermelhető kőolaj mennyiségének 10–20 éven belül bekövetkező csökkenése már napjainkban is szükségessé teszi a hajtóművek működtetéséhez szükséges fosszilis eredetű benzin, kerozin felhasználási hányadának csökkentését. Tapasztalatok szerint a szintetikus, illetve bioüzemanyagok a környezetet kevésbé károsító üzemeltetést tesznek lehetővé, mivel égéstermékük károsanyag-tartalma alacsonyabb, mint a keroziné, a benziné, de főként a gázolajé.

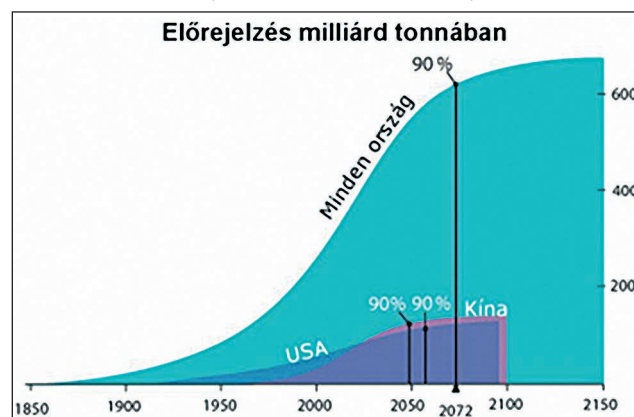
A repülőipari nagyhatalmakon (Oroszország, USA) kívül, a szintetikus és alternatív üzemanyagok kutatás-fejlesztése a közel-keleti olajkitermelő országokban is zajlik. Utóbbiaknál természetesen nem a kerozin maradéktalan kiváltása, hanem a hozzájuk lehetőleg magas arányban keverhető (adalékolható) szintetikus összetevők kutatása és létrehozása kapott prioritást, ezzel is biztosítva saját maguk számára a minél tovább fenntartható kőolajkitermelést és értékesítést.

A szénből készült folyékony szintetikus üzemanyag (CTL – Coal to Liquids) előállítás a második világháború előtt Németországban kezdődött, majd az 1960-as években, az apartheid miatt a kereskedelmi bojkottal sújtott Dél-afrikai Köztársaságban folytatódott, technológiafejlesztéssel társulva. Napjaink környezetvédelmi előírásai és a fogyóban lévő ásványkincsek készletek ismét szükségessé tették e – korábbi kényszerszülte – eljárás felélesztését, korszerűsítését, különösen, hogy 50–60 USD/barrel feletti kőolajárak mellett a kitermelés már nyereségessé válik. Napjainkban már földgázból is készül szintetikus tüzelőanyag, az ún. GTL (Gas to Liquids).

A hagyományos, belső égésű hajtóművekkel épített repülőeszközök és technológia fenntartásában a nagy szén-, illetve gázvagyonnal rendelkező országok (pl. Kína, Oroszország, USA, Dél-Afrika stb.) az ásványkincsek kitermelhetőségéig jelenleg is érdekeltek. Természetesen a kőolajhoz hasonlóan, a kitermelhető szén- és gázmennyiség is véges. Ez akkor is igaz, ha egyes prognózisok azt feltételezik, hogy e készletek lényegesen bővíthetnek, amennyiben a jelenleg nehezen hozzáférhető rétegek új technológiákkal valamikor majd egyszerűbben és gazdaságosabban felszínre hozhatóvá válnak. A szén esetében azonban, a régóta üzemelő bányák kitermelési és értékesítési adatai e feltételezés helyességét nem igazolják.

A Kaliforniai Műszaki Egyetem (Caltech) kutatási eredményei azt mutatják, hogy a szénkitermelés növelhető, és képes a mind nagyobb szükségletek kielégítésére akár valamivel az évszázad végén túlnyúlóan is. Azonban a két

15. ábra. A Föld szénkitermelésének várható alakulása (milliárd tonnában) (Forrás: Scientific American)



nagy kitermelő (USA és Kína) részvételét is figyelembe véve, 2072-re már csak a jelenleg rendelkezésre álló szén-készlet 10%-a marad hozzáférhető (15. ábra).

A kőolajból előállított benzin- és kerozinfelhasználás csökkentésére, kiváltására másik lehetőség a *bioüzemanyagok* (Biomass to Liquid – BTL) alkalmazása, amelyeket az ún. biomasszából állítanak elő, és jelenleg két fő csoportjuk ismert: a *biodízel* és a *bioetanol*. Ezek alapanyagai magas cukor-, cellulóz-, keményítő- vagy olajtartalmú növények, de léteznek algából és faggyúból előállított változat is Bio-SPK (Bio Derived Synthetic Paraffinic Kerosene) elnevezéssel, illetve újabban a halfeldolgozás hulladék anyagaiból is előállítanak biodízelt.

A nagy légitársaságok már több alkalmazott repülőgép típusukon megkezdtek a fosszilis eredetű kerozin-bioüzemanyag keverékekkel történő üzemeltetést.

A polgári légitársaságokon kívül az USAF is megvizsgálta a bioüzemanyagok alkalmazási lehetőségeit. 2014-ben sikeres tesztrepüléseket végeztek UH-60A Black Hawk és CH-47 Chinook típusú helikopterekkel, amelyeket emberi fogyasztásra alkalmatlan kukoricából készített üzemanyaggal töltöttek fel. A U.S. Navy alternatív üzemanyaggal működő vadászipülőgépet is sikerrel tesztelt, amikor egy F/A-18 Super Hornet típusú vadászgép 50–50%-os kerozin-bioüzemanyag keverékkel repült. Az utóbbi összetevő gomborkából (homoki repce) származik – amely egy, az USA-ban is termő, nem élelmezési célú, de megújuló energiaforrásként tökéletesen alkalmazható növény.

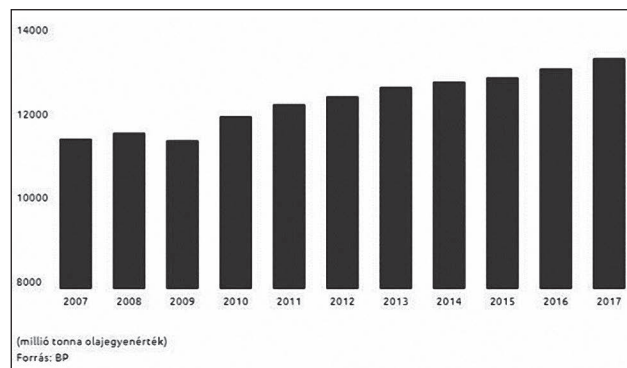
A nyersanyagok táplálkozásra való alkalmatlansága azért hangsúlyos etikai kérdés, mert erősen támadott az olyan termőföldek és terményeik feláldozása üzemanyag-előállításra, ahol étkezési alapanyagként is használható növények termelhetők. Ezt kiküszöbölendő jelentős lépések történtek a bioüzemanyagok nyersanyaga után megmaradó másodlagos források (pl. gallyak, faforgács stb.) felhasználására (erdészetek, fahordozók stb.).

A folyamatos fejlesztések nyomán az ASTM (American Society for Testing and Materials International) nemzetközi szabványügyi szervezet jóváhagyta a „megújuló üzemanyagok” kereskedelmi forgalmazását és katonai repülőgépekben történő alkalmazását. A vonatkozó ASTM D7566 Standard megengedi akár 50%-os „bio eredetű szintetikus tüzelőanyag” keverését a hagyományos kerozinhoz. Ennek eredményeként (is) 2017-ben már működött olyan vállalat (pl. a Southern California-hoz tartozó Altair), amely mintegy 58 millió liter szabványos bioüzemanyag készítését vállalta étkezési célokra hasznosíthatatlan olajokból és mezőgazdasági hulladékból. A Honeywell UOP multinacionális vállalat, az általa kidolgozott pirolízis módszerével a kőolajjal versenyző (45 USD/hordó árú) bioüzemanyag gyártását kezdte meg. A sikeres katonai tapasztalatokat fokozatosan a polgári légitársaságok is adaptálják.

Hasonló kutatások folynak Kínában is, hiszen 2015-ben sikerrel repült az első Boeing 737-es, amelynek hajtóanyagát a China National Aviation Fuel csoport és a Sinopec, Ázsia legnagyobb olajfinomító és petrokémiai vállalata biztosította. A feltöltött tüzelőanyag 50-50%-ban hagyományos kerozinból és úgynevezett „csatornaolajból” készült. (Utóbbi használt, fogyasztásra alkalmatlan étolaj.) Mivel Kínának a következő 20 évben az elképzelések szerint több mint 6000 db új repülőgépre lesz szüksége, ezért komoly alternatívaként tekintenek a bioüzemanyagokra. Többek között azért, mert szakértőik szerint a növényekből (például algából, kukoricából), vagy a használt étolajból készített hajtóanyaggal a károsanyag-kibocsátás 50–80%-kal is csökkenthető a tisztán kőolajszármazékokhoz képest.

KÉRDŐJELEK A 2050-IG TARTÓ FEJLŐDÉS RŐL

Ahhoz, hogy a repülőgépgyártás és az üzemeltetés 2050-re elérje a környezetvédelmi előírások által időarányosan meghatározott CO₂-kibocsátási szintet, még számos feladat megoldása szükséges a valóban tömegesen alkalmazható alternatív energiák létrehozása és bevezetése terén. Különösen hangsúlyozza ennek fontosságát, hogy a globális energia-felhasználási trend töretlen növekedése mellett (16. ábra), környezetvédelmi megoldást csak a megújuló energiák mielőbbi nagyarányú térhódítása nyújthat.



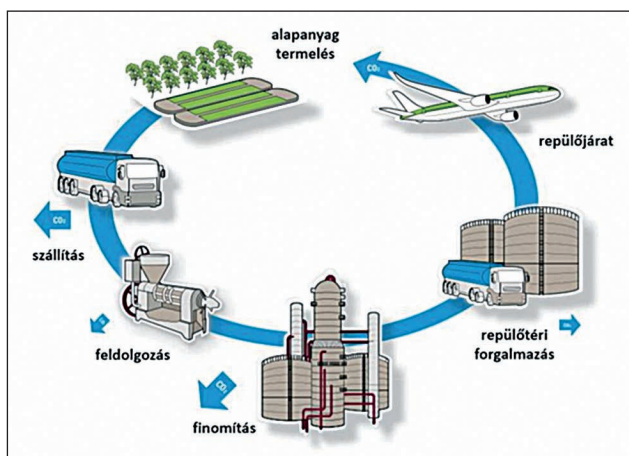
16. ábra. Globális primerenergia-felhasználás (Forrás: BP)

Addig a nagy tömegek gyors, nagy távolságú légi szállítására feltehetően jelentős mennyiségben megmaradnak a gázturbinás hajtóművel működő repülőgépek is. Ez azt jelenti, hogy bár a károsanyag-kibocsátás folyamatos és következetes, nagymértű csökkentése szükséges – pl. szintetikus és/vagy bioüzemanyag felhasználásával –, de teljes megszüntetése a megújuló energiák elterjedéséig nem lehetséges. Emellett politikai konszenzus is szükséges a repülés „fenntartható üzemanyag”-ainak meghatározásáról, definícióba foglalva a bioüzemanyagok elfogadását is. Ez korántsem egyszerű, mivel több, nem kormányzati környezetvédő szervezet (pl. a Greenpeace) ragaszkodik ahhoz, hogy a növényi alapú bioüzemanyag nem tekinthető „fenntarthatónak”. Szerintük csak azok a tüzelőanyagok sorolhatók ebbe a kategóriába, amelyek nem érintik az élelemhez való jogot.

A legtágabban értelmezett bio-tüzelőanyag alapanyaga lehet állati, vagy növényi eredetű biomassza. Ebbe a kategóriába tartoznak a fenntartható (más néven fejlett bio-tüzelőanyag) és a nem fenntartható forrásból származó nyersanyagok is. Az utóbbit a felhasználók – etikai és gazdasági szempontok miatt – a repülésben kerülnek.

A „fenntartható repülő-tüzelőanyag” (SAF – Sustainable Aviation Fuel) fogalma nemcsak bővebb tartalommal bír, hanem szélesebb körű a nyersanyag forrása is, hiszen az nem csak biológiai eredetű lehet (pl. műanyag csomagolás). Jelenleg önmagában nem (további kutatások-fejlesztések során a jövőben lehetséges), de hagyományos szénhidrogénekkel keverve Jet-A1 minőségű, a repülőgépek üzemanyag-rendszerébe azonnal tölthető tüzelőanyag hozható létre belőle. Ahhoz, hogy a SAF kereskedelmi forgalomba kerülhessen, a laboratóriumi, földi és repülési tesztek is sikerrel kell teljesítenie.

Ugyanakkor mérhető, hogy az alternatív tüzelőanyagokat felhasználó légi járművekből (a SAF-repülőgépekben történő égetés ellenére) nem kerül számottevően kevesebb károsanyag a légkörbe, mint a hagyományos benzin, vagy kerozin alkalmazásakor. Annak teljes életciklusát figyelembe



17. ábra. A SAF szén-dioxid-kibocsátása életciklusa során
(Forrás: <https://aviationbenefits.org/166152>)

vége (17. ábra) – amelynek minden fázisához kapcsolódik károsanyag-kibocsátás – a SAF felhasználásával nyert mérési tapasztalatok azt mutatják, hogy a hagyományos tüzelőanyagokkal összevetve, akár 80%-kal kevesebb szén-dioxid, kén-dioxid és lebegő részecske kerül általuk a környezetbe.

Mindezek szabványosítására jött létre a Fenntartható Repülő-tüzelőanyag Felhasználók Csoportja (Sustainable Aviation Fuel Users Group – SAFUG) nevű szervezet. Tagjai olyan légitársaságok, amelyek elkötelezték a nemzetközileg elismert alternatív tüzelőanyagok szabványai iránt (pl. RBS), és nagy figyelmet fordítanak a fenntarthatóságra

több területen is. Az SAF-et felhasználva megkövetelik a beszállítóktól, hogy a tüzelőanyaguk rendelkezzen fenntarthatósági bizonyítvánnyal (Certificate of Sustainability – CoS), vagy ennek megfelelő okmányokkal. Szerte a világon több szervezet is kiadhat ilyen dokumentumot, mint például a Nemzetközi Fenntarthatósági és Szén-dioxid Tanúsítványt (International Sustainability and Carbon Certification – ISCC).

Az ICAO becslései szerint 2050-ben mintegy 600 millió tonna repülőgép-üzemanyag szükséges valamennyi repülési igény kielégítéséhez. Ehhez akár 45 exajoule ($EJ = 10^{18} J$) biomasszát kell felhasználni a szükséges mennyiségű bioüzemanyag előállításához, tekintettel az átalakítási folyamat viszonylag alacsony hatékonyságára. Hogy ez honnan származtatható, a későbbiekben megválaszolendő fajsúlyos kérdés.

(Folytatjuk)

A GINOP 2.3.2-15-2016-00007 „A légiközlekedés-biztonsághoz kapcsolódó interdiszciplináris tudományos potenciál növelése és integrálása a nemzetközi kutatás-fejlesztési hálózatba a Nemzeti Közzolgálati Egyetemen – VOLARE” című projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával valósul meg.

A tanulmány a fenti projekt „AVIATION_FUEL” nevű kiemelt kutatási területéhez kapcsolódóan valósult meg.



(illusztráció a szerzők gyűjteményéből)

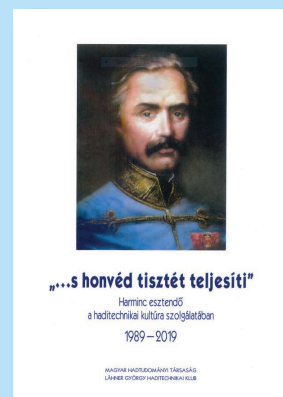
„...s honvéd tisztét teljesíti”

Harminc esztendő a haditechnikai kultúra szolgálatában 1989–2019

A Magyar Hadtudományi Társaság Láhner György Haditechnikai Klub kiadásában napvilágot látott kötet a mártírhálalt halt névadó emlékeztetésre, a klub megalapításának 30. évfordulója alkalmából jelent meg. Az 1989-ben, a rendszerváltás pillanatában létrejött klub alapvetően a haditechnikai és hadiipari szakmai kultúra megőrzését, valamint a haditechnikai szakterület fejlesztését, a szakmai utánpótlás nevelését, valamint az ismeretterjesztést tekinti küldetésének. 1991-ben a Magyar Hadtudományi Társaság önálló szervezeti egységként befogadta a haditechnikai klubot, amelynek tagsága napjainkban is aktív tevékenységet folytat, és nyitott az érdeklődő jelentkezők előtt.

A jubileumi kiadvány elsősorban a 2009–2019 közötti évtized tevékenységét dokumentálja, de helyet kapott benne egy hadtörténelmi tanulmány, egy szakmai visszaemlékezés, egy történelmi-politikai kitekintéssel bővített tudósítás, valamint számos színes fotó a klubélet eseményeiről. A kötet bevezető fejezetét A Láhner György Haditechnikai Klub céljai és eseménytörténete címmel prof. dr. Turcsányi Károly, a klub elnöke írta és szerkesztette. Tóth Dominik Láhner György honvédtábornok, a magyar honvéd haderő felfegyverzője című tanulmánya a tábornok tevékenységének azon szakaszára fókuszál, amikor megszervezte és koordinálta a magyarországi hadiipari termelést és a honvéd csapatok ellátását. Kunos Bálint, a klub egyik alapítótágya személyesen vett részt a Magyarország NATO-csatlakozását előkészítő munkában, majd a jogszabályok kodifikálásában. Informatív és adatgazdag visszaemlékezését A magyar NATO tagság 20 éve címmel írta meg. Varga László a haditechnikai klub által szervezett szakmai programok közül egy észak-magyarországi kirándulást idéz fel Egy emlékezetes látogatás Regécen címmel. A könyv önálló fejezetet szentel a szakmai szervezet rendezvényein, emléktúráin készült fotóknak, tartalmazza a klub működési rendjét és a tagok névsorát. A kötet fejezeit a haditechnikai klub elnökének köszöntője és záró gondolatai foglalkoztatják.

A Magyar Haditechnikai Társaság Láhner György Haditechnikai Klub kiadásában, 2020-ban belső terjesztésben megjelentetett kötet cérnafűzött, puhatáblás, számos fotóval illusztrált, terjedelme 76 oldal. (R. A.)



Végvári Zsolt*

A hidrogén lehetséges honvédelmi (katonai) alkalmazása

A hadviselés a történelem hajnala óta a társadalom egyik leginkább erőforrásigényes tevékenysége. A katonai célra felhasznált erőforrások közül az energiaigény egészen a múlt század elejéig elsősorban a hadiparban jelentkezett. A belső égésű motorok, valamint a villamosság megjelenését követően azonban, már a harc-
térén is mérhető és logisztikailag biztosítandó a nem emberi vagy állati eredetű energia. Mivel a katonai és civil technológiák az esetek többségében azonosak – vagy legalábbis közös tudományos kutatási eredményeken alapulnak –, nem meglepő, hogy amilyen mértékben napjainkban nő a civilizáció energiaigénye, legalább ugyanolyan ütemben nő a katonai műveletek energiaigénye is. A második világháború végére egy amerikai katona tevékenysége napi 4 liter olaj-ekvivalens energiát² igényelt. Ez a szám a vietnámi háború alatt 33 liter, az első öböl-háború idején pedig már 81 liter volt [1]. A Magyar Honvédséggel szemben természetesen mások az elvárások, de ebben az esetben is nyilvánvaló a növekvő energiaigény. Csupán ez elmúlt években, évente mintegy félmillió literrel nőtt a Magyar Honvédség által felhasznált fosszilis üzemanyagok mennyisége [2].

A Magyar Honvédség elkötelezett abban, hogy a Nemzeti Energia és Klímatervvvel összhangban csökkentse a működéséhez szükséges fosszilis üzemanyag-mennyiséget, de ez nyilvánvalóan nem történhet a meglévő képességek rovására, sőt az elkövetkezendő időszakban a Zrínyi 2026 Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program részeként a Magyar Honvédség számos új képességre tesz majd szert. A két egymásnak némileg ellentmondó cél csak úgy valósítható meg, ha a Magyar Honvédség adaptálja a legkorszerűbb energetikai eljárásokat és technológiákat, ideértve a hidrogénen alapuló megoldásokat is.

Az a fosszilis energiahordozó-mennyiség, amelyet – összhangban a nemzeti célkitűzésekkel – a hidrogén-alapú technikákkal meg tudunk takarítani a Magyar Honvédség működése során, igen fontos, hiszen ennek révén csökken az ország energiatartózkodása és előnyös a környezet védelme szempontjából is. Ebben a tekintetben a Magyar Honvédség nem különbözik az állami szféra más szervezeteitől, de van néhány olyan részterület, ahol a speciális kato-

nai elvárások a legtöbb „civil” felhasználási módtól eltérő igényeket támasztanak a hidrogénre épülő energetikai technológiák terén. A továbbiakban ezeket az alkalmazási sajátosságokat kívánom bemutatni.

E-MOBILITÁS – KÖZÜTI JÁRMŰVEK

Bár a hadseregek sokszor hagyományosan úttörők egy technológia fejlesztése és felhasználása terén, sokszor mégis határozottan konzervatív módon választanak ki egy-egy haditechnikai eszközt. Ennek oka a „civil” területét meghaladó megbízhatósági-biztonsági szempont prioritása. A legtöbb haderő a nagyobb, komplex haditechnikai eszközök beszerzése terén – elsősorban a költséghatékonyság miatt – legalább 10-20 éves életciklussal számol. A tervezett felújítások, korszerűsítések révén ez az időtartam akár a 30 évet is meghaladhatja. Ez azt jelenti, hogy a hadsereg nem engedheti meg magának egy technológiai zsákutca kockázatát, ezért sokszor a jól bevált, hagyományos eszközöket részesíti előnyben.

**1. ábra. A hidrogénhajtású SURUS-platform összeraké-
meghajtású és -kormányzású. Terepen is képes autonóm
módon közlekedni (Forrás: General Motors)**



ÖSSZEFOGLALÁS: 2020. április 27-én az Innovációs és Technológiai Minisztérium védnökségével megalakult a Nemzeti Hidrogéntekológiai Platform (NHTP). Az alapító tagok egyike a Magyar Honvédség Modernizációs Intézete. A szervezethez csatlakozó tagok mindegyike elkészítette a saját hidrogénnel kapcsolatos céljait, elképzeléseit. A tanulmány a Modernizációs Intézet által készített koncepció¹ alapján készült.

KULCSSZAVAK: Hidrogén, energia, energiatárolás, MH Modernizációs Intézet

ABSTRACT: On 27th April 2020 the National Platform of Hydrogen Technology has been founded by the patronage of Ministry for Innovation and Technology. One of the founder members is the Hungarian Defence Forces Modernisation Institute. It was expected to all joining organisation to present a short study to write about its goals and ideas about Hydrogen. This paper is based on the study of Modernisation Institute. Further information: <https://www.hfc-hungary.org/platform/>.

KEY WORDS: Hydrogen, energy, energy-storage, Modernisation Institute

* Mk. alezredes, MH Modernizációs Intézet, NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Katonai Műszaki Doktori Iskola. ORCID: 0000-0003-2543-6049



2. ábra. A SURUS-platform egyik lehetséges alkalmazása –
önjáró sebesültszállító (Forrás: General Motors)

Valószínűleg az említett okok magyarázzák, hogy a hadseregek általános felhasználású közúti járművei között még elhanyagolható a részben vagy egészben villamos hajtásláncú (ideértve a hidrogént tankoló elektromos motorral szerelt eszközöket is) gépjárművek aránya. Ugyanakkor nyilvánvaló, hogy a következő években egyre több és többféle villamos jármű megjelenésére számíthatunk a közutakon. Ez egy olyan globális trend, amely hatással van a védelmi szférára is, így már a közeljövőben várható, hogy zöldre festett, elektromos meghajtású katonai járművek jelenjenek meg az utakon. A távolabbi jövőben a speciális szárazföldi járművek, a harcjárművek is áttérnek az elektromos meghajtásra, napjainkban már ezen a területen is folynak kutatások.

Létezik azonban a katonai járműveknek egy olyan szegmense is, ahol az esetleges hidrogénüzemeltetésnek már most is komoly előnyei látszanak, amelyek képesek ellensúlyozni a technológia újszerűségéből eredő hátrányokat. Minden katonai jármű esetében követelmény, hogy lehetőség szerint minél nehezebben lehessen azt detektálni, míg a kimondottan felderítő célú járművek esetén ez az igény hatványozottan jelentkezik. Ezek azok az eszközök, amelyek egy katonai művelet során elsőként kerülhetnek szembe az ellenséggel, így a felderítő járművekkel szemben fokozott elvárás, hogy az információs fölény³ biztosítása érdekében rejtve tudjanak ténykedni. A jármű méretéből adódó optikai, szeizmikus stb. észlelhetőség nehezen csökkenthető, de a hagyományos dugattyús motoros járművek infravörös és akusztikus észlelhetősége radikálisan csökkenthető a villamos meghajtásra történő váltással [3].

A villamos járművek döntő többsége jelenleg akkumulátoros üzemű, amely technológia azonban egy katonai felderítő jármű esetében határozottan hátrányos. Itt is jelentkezik a jelenlegi közúti villamos járművek gyenge pontja, a korlátozott hatótávolság, de ennél is nagyobb probléma, hogy katonai műveleti területen még a legkorszerűbb gyorstöltő eszközzel elérhető 8-10 perces feltöltési idő is megengedhetetlenül sok, arról nem is beszélve, hogy még a feltöltéshez szükséges villamos energiát is biztosítani kell valahonnan. Mivel nem életszerű, hogy a felderítő járművet diszkrét távolságban egy, a platóján aggregátort vagy többtonnányi akkumulátort szállító terepjáró tehergépkocsi kövessen, ezért ha egy ilyen nehezen észlelhető, ún. „low signature” felderítő jármű létrehozása a cél, jelenleg a hidrogén – PEM-cella⁴ – villanymotor összeállítás tűnik a legelőnyösebbnek.

Ezen a területen az amerikai General Motors kutatásai jutottak talán a legmesszebb. Egy éve még csak hidrogénes üzemű alakított Chevrolet Coloradoval folytatott ki-

sérletekről jelentek meg tudósítások, de 2020-ra jelentős innovációt mutattak be. A koncepció a SURUS⁵ nevet kapta [4]. A jármű legszembetűnőbb tulajdonsága a teljesen lapos kialakítás, amely egyrészt nyilvánvalóan egyszerűvé teszi többféle felépítmény alkalmazását, másrészt – mivel a vezetőfülke is hiányzik – önvezető funkciót feltételez. Ez még közúton sem egyszerű, nemhogy terepen, de a GM mindenesetre bizakodó, 2023-ra mintegy 20 elektromos, illetve hidrogénüzemű járművet szándékozik piacra dobni. Magát a SURUS-t a mintegy 400 mérföldes⁶ hatótávolságával konvoj kíséretre szánják.

E-MOBILITÁS – LÉGI JÁRMŰVEK

A drónok megjelenésével új lendületet kapott a villamos hajtású légi járművek fejlesztése, azonban az akkumulátoros közúti járműveknél jelentkező korlátozott hatótávolság ebben a szegmensben is komoly akadályozó tényezőt jelent. Éppen ezért a nagyobb, pilóta által vezetett repülő eszközök esetében a belátható jövőben még valószínűleg a gázturbina marad az uralkodó erőforrás (lásd: Dr. Óvári Gyula – Fehér Krisztina: Repülőgépek elektromos meghajtása – szükségszerűség kompromisszumokkal című tanulmányát a Haditechnika 2020/6. és 2021/1. számában – a Szerk.), de kisebb, a szárazföldi alakulatok által is használt eszközöknél összességében egyszerűbb megoldás lehet a villamos hajtás alkalmazása.

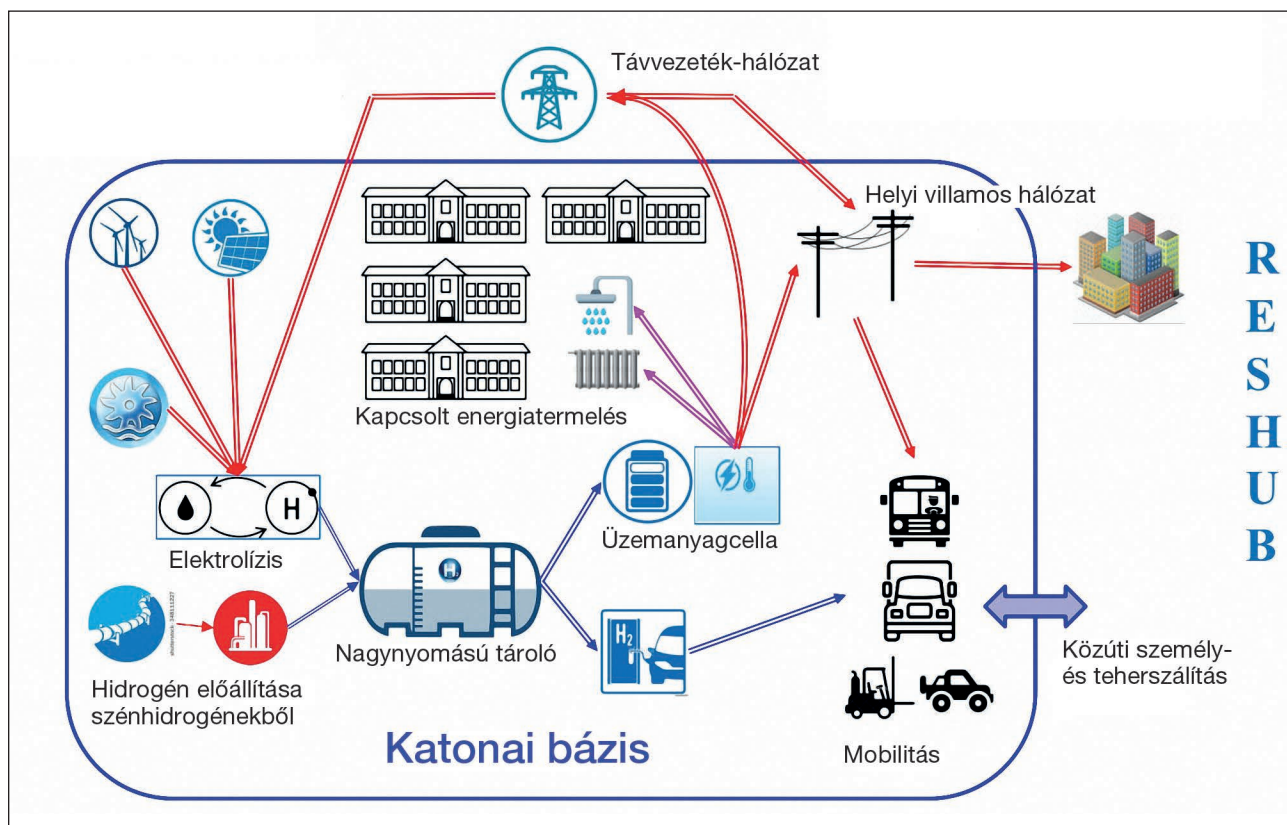
Szinte minden korszerű hadsereg alkalmaz kis méretű felderítő drónokat olyan esetben, amikor a gázturbina vagy dugattyús motor túl bonyolult megoldást jelent, illetve nagyban rontaná az eszköz felderítő képességeit, de az akkumulátorok által biztosított hatótávolság még megfelelő. A dróntechnika fejlődésével mindeközben felmerült az igény egy nagyobb méretű felderítő-logisztikai, illetve ellátó-sebesültszállító platform létrehozására is. Ebben a méret- és funkciótartományban logisztikai szempontból még mindig nem szívesen alkalmaznak hőerőgépes meghajtást, mivel annak zaj- illetve hőhatása miatt egyébként is nagyon rossz lenne egy ilyen alacsony magasságon működő eszköz túlélőképessége. Ugyanakkor az akkumulátorok tömege már lehetetlenné teszi, hogy elérjék a minimum megkívánt 2-300 km-es operatív hatótávolságot. Ezen a fejlesztési területen komoly előnyt biztosíthat a hidrogén és a PEM-cella együttese, amely ötvözhetné a hőerőgépes meghajtás hatótávolságát a villamos hajtás alacsony karbantartási igényével és korlátozott észlelhetőségével.

E-MOBILITÁS – ÜZEMANYAG-ELLÁTÁS

Mint minden hadsereg, a Magyar Honvédség is rendelkezik saját üzemanyag-tároló és -elosztó kapacitással. Ennek oka, hogy a „békétől eltérő” időszakban⁷ a Magyar Honvédséggel szemben alapvető elvárás, hogy a saját működését meghatározott ideig, a civil infrastruktúrától függetlenül legyen képes biztosítani. Ehhez pedig nyilvánvalóan rendelkeznie kell a megfelelő mennyiségű üzemanyag-tartalékkal, illetve az elosztáshoz szükséges eszközökkel (tartályautók, mobil üzemanyag-átfejtő eszközök, labor stb.).

Amennyiben a hadseregek, köztük a Magyar Honvédség járműflottájában megjelennek az elektromos meghajtású járművek, ezen logika alapján biztosítani kell azok saját tartalékából, saját eszközökkel történő töltetőségét is. Mivel egy önálló katonai villamos távvezeték-hálózat kiépítése nem tűnik életszerűnek, a szükséges villamos energiát





3. ábra. A RESHUB projekt egy objektumának felépítése (Forrás: Szlovén Védelmi Minisztérium)

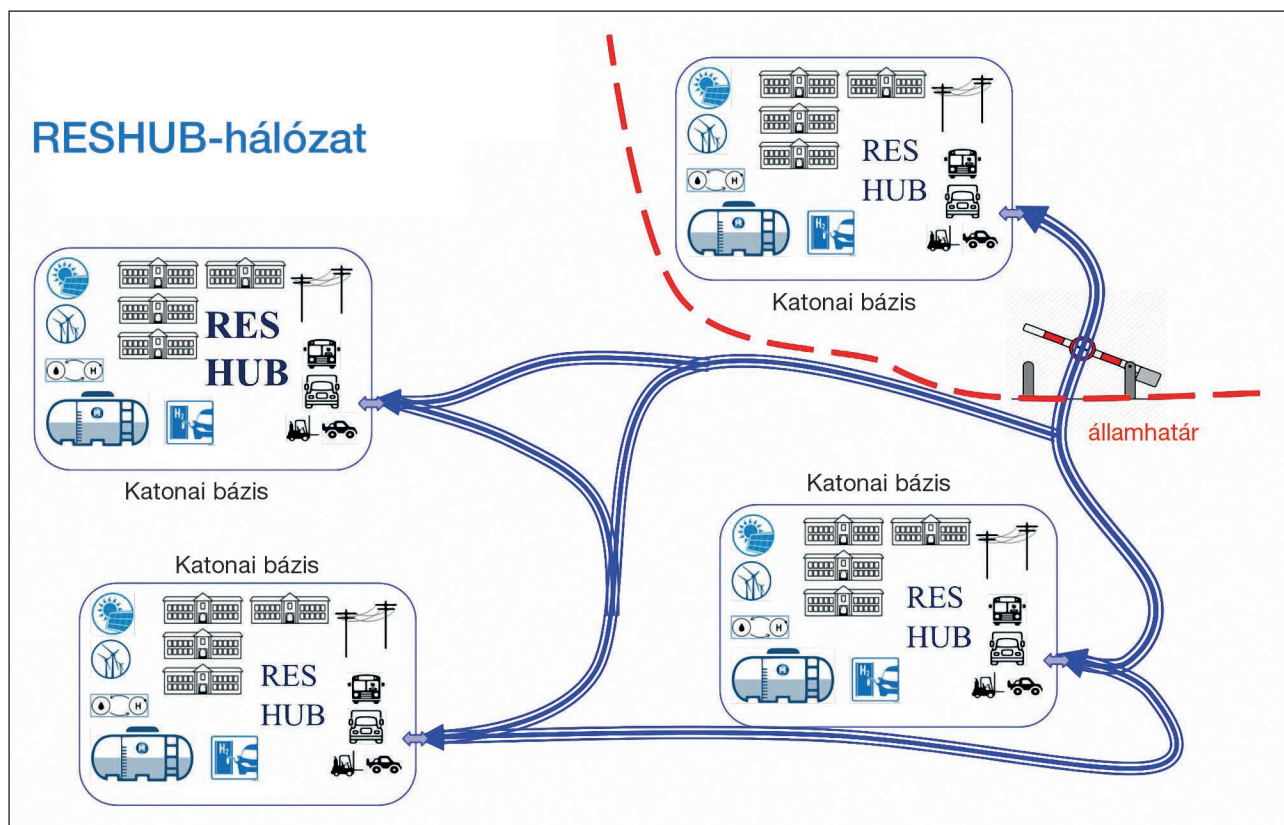
valamilyen lokális módon kell tárolni. Ha eltekintünk a teoretikusan lehetséges szivattyús-tárolás, lendkeres vagy még szokatlanabb szupravezetős tekercses technológiáktól, belátható, hogy jelenleg csak az akkumulátoros és a hidrogénalapú tárolási eljárások képesek azt a mobilitást, rugalmasságot és megbízhatóságot biztosítani, amelyek a katonai alkalmazás alapfeltételei. Az akkumulátorok mellett szól az a tény, hogy általánosan használt, és elérhető technikáról van szó, amelynek szinte minden paraméterét tekintve (energia- és teljesítménysűrűség, élettartam) továbbfejleszthető. Ugyanakkor a technológiának van számos olyan hátrányos tulajdonsága is, amely a belátható jövőben továbbra is problémát jelent majd. Ilyenek egyebek között az erős hőmérséklet-függőség (amely katonai alkalmazás esetén fokozottan jelentkezik), és az előállítás-hoz szükséges ritkaföldfémek elérhetősége, illetve a kitermeléssel járó környezetpusztítás. További kedvezőtlen sajátossága az akkumulátoros technológiának, hogy a tároló és a tárolt energia kinyeréséhez szükséges, vagyis a kémiai energiát villamossággá alakító rész egyetlen fizikai egységet alkot. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy növekvő tárolt energiaigény esetén a jövőben azzal egyenes arányban nő a tároló tömege, a térfogata, és nem utolsósorban az ára is.

A hidrogén esetében – függetlenül attól, hogy nagynyomású palackban fémabszorbensként, vagy kriogén folyadék formájában tároljuk azt –, a tárolástól elkülönült egységet képez a kémiai energiából villamos energiát előállító eszköz, vagyis a PEM-cella. Növekvő tárolt energiaigény esetén csak a tárolóból (pl. palackból) kell több, a PEM-cella kapacitását (és ennek megfelelően a méretét és árát is) csak az adott pillanatban kinyerni kívánt energia mennyisége határozza meg. Természetesen a hidrogénre alapuló tárolásnak is vannak olyan kedvezőtlen tulajdonságai,

amelyek a közeli jövőben még korlátot jelenthetnek. Ilyen pl. a determinált maximális hatásfok és a PEM-cellában alkalmazott platina kérdése. Ugyanakkor, ha az energiaigény túlnő a néhány 10 vagy 100 kWh-s tárolási kapacitáson, egyértelműnek tűnik, hogy már jelenleg is a hidrogénes technológia a költséghatékonyabb. Márpedig egy komolyabb méretű gépjárműflotta többnapos energiaigénye minimum 100 MWh-s nagyságrendet jelent.

Ezen a területen már egy részben hazai programról is beszámolhatunk. Az elektromos katonai járművek polgári célú rendszerektől független töltésének kérdésével a nemzetközi szakmai szervezetek is foglalkoznak. Az Európai Védelmi Ügynökség (EDA)⁸ támogatásával öt ország fogott össze egy európai védelmi célú villamos töltőhálózat kialakításának érdekében, amely napelemekkel előállított hidrogén tárolásán, és igény szerint, PEM-cellák segítségével előállított elektromosságon alapszik. A 2019-ben elindult RESHUB⁹ projektvezető nemzete Szlovénia. A programban Ausztria, Belgium, Németország és – a Magyar Honvédség Modernizációs Intézete révén – Magyarország vesz részt. Az öt ország sikeresen pályázott az uniós strukturális alapoknál¹⁰ (első lépésként a megvalósíthatósági tervek elkészítésére), de a COVID-19 vírus okozta helyzetben ennek tényleges végrehajtása csúszik. Magyarországon öt katonai objektum területén alakítanának ki hidrogénalapú töltőpontot. A tervek szerint a hazai katonai töltőállomások úgy helyezkednek majd el, hogy biztosítsák egy, az országon áthaladó szövetséges katonai konvoj ellátását.

A megvalósíthatósági tanulmányok figyelembe veszik a helyi gazdasági és jogi környezetet, megvizsgálják az esetleges túltermelés esetén a befogadó katonai objektum villamos hálózatába történő visszatáplálás lehetőségét, illetve a polgári célú hidrogén és/vagy villamos energia értékesítést is. Ez a kialakítás a Magyar Honvédség szempontjára



4. ábra. A RESHUB-projekt felépítése (Forrás: Szlovén Védelmi Minisztérium)

ból határozottan előnyös, ugyanis a Magyar Honvédség európai viszonylatban is elismerésre méltó, több mint 500 kW névleges teljesítményű saját tulajdonú napelemes termelőkapacitással rendelkezik, ami egy éven belül megduplázódik (a tanulmány írásának idején több helyszínen már csak a hivatalos átadás van hátra). A kiserőművek egy része a termelt áramot képes visszatáplálni a hálózatba, de néhány helyszínen – jogi vagy műszaki gondok miatt – ez nem valósulhatott meg, így jelenleg az aktuálisan a nem felhasznált villamos energia elvesz, amit egy elektrolizátor berendezéssel és hidrogénzivattyúval orvosolni lehet.

Amennyiben a RESHUB-projekt megvalósul, azzal a Magyar Honvédség egycsapásra az egyik legjelentősebb magyarországi hidrogénfelhasználóvá lépne elő, de ennél sokkal fontosabb, hogy a hidrogén formájában letárolt energia akkor is rendelkezésre áll, ha éppen nem halad keresztül az országon szövetséges konvoj, amelyet fel kellene tölteni. Ennek segítségével a Magyar Honvédség saját elektromos és/vagy hidrogénüzemű gépjárműflottát is üzemeltethet, vagy visszatáplálhatja az energiát a saját hálózatába, csökkentve az objektum fenntartási költségeit, illetve a többlet villamos energiát akár értékesítheti is.

TÁBORI VILLAMOSENERGIA-ELLÁTÁS

A modern hadseregek a laktanyákon kívül sem nélkülözhetik a villamos energiát. A konzervatív ellátási rendszer nyomán, a II. világháború idején tábori körülmények között még többnyire petróleummal világítottak és fával fűtöttek, az elektromosságot jobbra csak a kommunikációs eszközök üzemeltetésére használták, addig ez mára alaposan megváltozott. A már korábban említett információs fölény érdekében a katonai vezetés soha nem látott

menyiségű infokommunikációs eszközt használ, a csapatok vezetése és irányítása lényegében csaknem kizárólag elektronikus eszközökre épül, ezeket napjainkban csak C4¹¹ összefoglaló néven említik. Mindezeket túl manapság a világítás, a sátrak és konténerek klimatizálása illetve, az egyéb kiszolgáló létesítmények üzemeltetése is villamos árammal történik.

Ez a tábori körülmények között egyre inkább növekvő villamosság iránti igény napjainkra komoly logisztikai problémát jelent, ugyanis az energiatermelés technológiája lényegében 50 éve változatlan, még mindig hőerőgéppel meghajtott generátorokat, azaz aggregátorokat használ minden haderő. Egy művelési területen települt katonai alakulat csak addig képes a pozícióját tartani, amíg élnek az utánpótlási vonalai. Márpedig az utánpótlás túlnyomó tartalmi része napjainkban az üzemanyag, aminek egyre jelentősebb arányát nem a harcsművek, hanem az aggregátorok meghajtására égetik el. Ez egyben azt is jelenti, hogy művelési területen a fosszilis energiahordozók használatának mérséklése elsősorban nem környezetvédelmi vagy gazdasági kérdés, hanem művelési előny, ami növeli a települt katonai erő túlélőképességét, autonómiáját. A közelmúlt konfliktusai is rávilágítottak arra a tényre, hogy az ellátó konvojok kedvelt célpontjai az ellenségnek, így a fosszilis üzemanyagok használatának mérséklése emberéletekben is mérhető előnyt jelenthet [5].

Művelési területen a köznapi értelemben vett üzemanyag-takarékosság nehezen értelmezhető, mivel a katonai célok elérése mindig elsődleges. Tehát a szükséges haditechnikai eszközök működésének korlátozása nem elfogadható, a korszerűbb, és így takarékosabb eszközök rendszeresítése (pl. hagyományos izzó helyett LED-es világítás alkalmazása) pedig önmagában nem képes ellensúlyozni a növekvő igényeket. Szintén megoldhatatlan, hogy





5. ábra. Napelemek és dízelaggregátor egy logisztikai gyakorlaton (Fotó: a szerző saját felvétele)

a katonai egységek az aggregátorok üzemeltetésére a harc- és gépjárműveiktől eltérő üzemanyagot használnak, hiszen ez ugyanúgy utánpótlást igényelne, ráadásul a NATO-ban él az ún. „Egyetlen üzemanyag elve” (SFC) [6]¹², vagyis a logisztikai ellátás egyszerűsítése érdekében a harctérre kizárólag szabványos összetételű kerozint¹³ szállítanak, és minden hőerőgépet azzal kell üzemeltetni.

Ilyen körülmények között az egyetlen megoldást a helyben is fellelhető elsődleges energiaforrások, elsősorban a megújuló források felhasználása jelentheti. A biomassza felhasználása külön infrastruktúrát igényelne, a vízenergia és a geotermikus energia felhasználhatóságát pedig a geológiai adottságok és a szükséges infrastruktúra mérete zárja ki. A fennmaradó szél-, és mindenekelőtt a napenergia az a forrás, aminek felhasználásához a szükséges eszközök olyan jól mobilizálhatók és skálázhatók, hogy katonai alkalmazásuk lehetséges. Ezek az elsődleges energiaforrások tehát tábori körülmények között is kiaknázzhatók, de nem megbízhatóak, nem mindig állnak rendelkezésre, amikor szükséges, ezért önmagukban alkalmazva nem csökkentik jelentős mértékben az aggregátorok működési idejét. A megoldás itt is a korábban már említett akkumulátoros vagy hidrogénelvű energiatárolás lehet, amellyel már valóban radikális mértékben, akár 60-80%-kal is csökkenthető az aggregátorok üzemideje. Egy bizonyos kapacitás felett itt is egyre inkább a hidrogén felhasználása tűnik előnyösebbnek, nemcsak a költségek, hanem a szállíthatóságot korlátozó tömeg miatt is. A hidrogén műveleti területen történő alkalmazása nem ütközik az egyetlen üzemanyag alkalmazásának elvébe (Single Fuel Concept), mivel azt jellemzően nem odaszállítani, hanem megújuló forrásokból helyben előállítani tervezik.

Természetesen nemzetközi kitekintésben ez a megoldás sem ismeretlen. A már korábban említett EDA, 2014-től önálló munkacsoportot működtet az energetikai és környezeti kérdések¹⁴ kezelésére, továbbá a NATO tudományos és technológiai szervezete (STO)¹⁵ is élénken kutatja a területet. Mindkét szervezet munkájának egyik fókuszterülete a hidrogén katonai célú alkalmazása. Magyarországon a Magyar Honvédség Modernizációs Intézete a Zrínyi 2026 Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program részeként az elavult aggregátoros berendezések kiváltására egy többéves projektet indított egy olyan hibrid terepi áramellátó komplexum kifejlesztése érdekében, amely megalapozza a hidrogénalapú energiatárolásban rejlő lehetőségek kiaknázását is.

SZEMÉLYI ÉS KISALEGYSÉG SZINTŰ ENERGIAELLÁTÁS

Napjainkban a haditechnikai fejlesztések terén általános probléma, hogy a konvencionális fejlesztési irányok, mint pl. a páncélvédetség növelése vagy a tűzfegyverek ballisztikai tulajdonságainak javítása, egyre inkább anyagtechnológiai korlátokba ütköznek. Amíg egy új technológia (pl. az

energiafegyverek) nem éri el a szükséges technikai színvonalat, addig jellemzően az információs fölény egyfajta lokális megteremtésével igyekeznek a csapatok harcértékét növelni. Ezt a célt szolgálja a GPS, a különféle elektrooptikai irányzékok, éjjellátó berendezések, a műholdas kommunikációs eszközök és zavaróberendezések, illetve akár a drónok alkalmazása is. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy tömegesen jelennek meg új elektronikus eszközök a katonai járművek fedélzetén, és a katonák egyéni felszerelésében is.

A katonai járműfedélzeti eszközök olyan jelentős terhelést jelentenek a járművek villamos rendszerére, hogy a tervezők egyre gyakrabban alkalmaznak kiegészítő hajtóműveket annak érdekében, hogy a gépkocsikat álló helyzetben is táplálni tudják. Korábban a fedélzeti akkumulátorok folyamatos működése érdekében járatni kellett a motort. Ami a személyi felszerelést illeti, a NATO-ban általános elvárás, hogy egy katona utánpótlás nélkül három napig önállóan tudjon ténykedni, vagyis az ehhez szükséges valamennyi felszerelést magával kell vinnie. Ez a tömeg – alakulattól és missziótól függően –, akár 30-50 kg is lehet, és ebből jellemzően 5-8 kg a máházott akkumulátorok tömege [7].

A harcjárművek esetében megoldás lehetne egy kis méretű PEM-cellás kiegészítő hajtómű felszerelése, amely álló helyzetben is zajtalanul működtethetné a fedélzeti elektronikus eszközöket. De minimális tömege, és a már sokszor dicsért zajtalan működés okán akár a gyalogos katonáknál lévő akkumulátorok feltöltésére is használható lenne. A kérdés rendkívül időszerű, ugyanis a már említett anyagtechnikai korlátok és az információs fölény miatt minden fejlett haderő napirenden tartja a „harctér digitalizálását”, ami azt jelenti, hogy a még a jelenleg alkalmazott infokommunikációs eszközöknél is több infokommunikációs eszköz jelenik meg az első vonalakban. Valójában minden harcjármű és minden katona az alapfunkciójától függetlenül egyben egy szenzor-szigetté is válna, így a vezetés minden korábbinál több információhoz juthatna a harctéri helyzetről, a környezeti viszonyokról, a katonák élettani paramétereiről, valamint a harcjárművek állapotáról. A Zrínyi 2026 Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program kiemelt célja az ún. „digitális katona architektúra” kialakítása, ahol vizsgáljuk a hidrogénalapú eszközök rendszeresítésének lehetőségét a személyi felszerelések között. Csupán érdekesség, hogy ebben a kontextusban a hidrogén alkalmazása már ellentmond a Single Fuel Concept elvének, ennek ellenére, mind az EDA, mind a NATO STO is folytat hasonló jellegű kísérleteket.

Büszkén jelenthetjük, hogy e területen is létezik magyar kutatás. A Magyar Honvédség Modernizációs Intézete a svájci Szövetségi Védelmi Beruházási Irodával együttműködve – a magyar Természettudományi Kutatóközpont Anyag- és Környezetkémiai Intézete és a svájci Szövetségi Technológiai Intézet munkatársainak bevonásával – egy komoly vizsgálat lefolytatására készül. A kutatás tárgya az akkumulátoros és a hidrogén energiatárolási technika harctéri alkalmazhatóságának összehasonlítása. A vizsgálat során nemcsak a villamos paraméterek összehasonlítására kerül sor, hanem kísérleti úton tanulmányozzuk, hogyan reagálnak a különféle energiatárolók, ha lövés vagy repesz okozta találat éri azokat.

ÖSSZEGRÉS

Egyre több jel utal arra, hogy a hidrogénre alapuló energetikai megoldások elérték azt a technológiai szintet, amikor széles körben és gazdaságosan alkalmazhatók válnak.

Napjaink környezetvédelmi, biztonságpolitikai és gazdasági kihívásai is indokoltá teszik, hogy a jövőben számoljunk ezzel a lehetőséggel. A Zrínyi 2026 Honvédelmi és Haderőfejlesztési Programnak köszönhetően a Magyar Honvédség számos területen megújul. Remek lehetőség nyílik arra, hogy ne csak kövesse az aktuális technikai fejlesztési irányokat, hanem részesévé, vagy akár egyik vezető erejévé is váljon azoknak. A hidrogén az egyik olyan terület, ahol számos katonai alkalmazás elképzelhető, így kiváló lehetőség nyílik a hazai ipari és akadémiai szektorral történő együttműködésre.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] R. Bryce. „Gas Pains”, *The Atlantic*, máj. 2005. Elérés: 2020. 11. 13. <https://www.theatlantic.com/magazine/archive/2005/05/gas-pains/303897>;
- [2] Király László és Végvári Zsolt, „Energiahatékonyság a Magyar Honvédség béke időszaki működésében”, *Hadtudomány* 27, sz. 3–4 (2017. nov): 54–73. <https://doi.org/10.17047/HADTUD.2017.27.3–4.54>;
- [3] Ocskay István és Végvári Zsolt. „A hidrogén üzemanyagcellák katonai célú felhasználásának lehetőségei”, *Haditechnika*, 53, 2. sz. (2019): 14–19. o. <https://doi.org/10.23713/HT.53.2.03>;
- [4] „GM’s view of hydrogen fuel cells: great for military use”. Elérés: 2020. 11. 13. https://www.greencarreports.com/news/1113209_gms-view-of-hydrogen-fuel-cells-great-for-military-use;
- [5] C. Helman. „More Oil Means More Death”, *Forbes*, nov. 12, 2009. Elérés: 2020. 11. 13. <https://www.forbes.com/2009/11/12/fuel-military-afghanistan-iraq-business-energy-military.html>;
- [6] „Chapter 8: Petroleum Support”, in *NATO Logistics Handbook*, Brussels: NATO HQ, 2012, o. 95–104.;

- [7] Márkus Ferenc. „A gyalogos lövészkatona egyéni harcászati felszerelésének modernizálási lehetőségei a Magyar Honvédségben”, *Seregszemle*, köt. 11, sz. 2–3, o. 7–21., máj. 2013.

JEGYZETEK

- 1 További információk: <https://www.hfc-hungary.org/platform/>.
- 2 Az angolszász irodalomban a nagyobb energiamennyiségeket gyakorta nyersolaj ekvivalens mértékben adják meg. 1 liter nyersolaj energiatartalma kb. 41 MJ.
- 3 Az információs fölény azt jelenti, hogy több és pontosabb információval rendelkezünk a saját és az ellenséges csapatokról és környezetről, mint az ellenség. Ennek birtokában hozhatók meg azok a helyes döntések, amelyek biztosítják a műveleti fölényt, ez által a győzelmet.
- 4 PEM: Proton Exchange Membrane – protonáteresztő membrános tüzelőanyag-cella.
- 5 Marcus Porcius Cato Maior ókori római író, történetíró, államférfi (i.e. 234–149) *Origines* (Eredetek) című munkája nyomán Plinius jegyezte fel Hannibál kedvenc elefántjának, SURUS-nak a nevét. A SURUS szó felhasználásával Tom Clancy kreálta a Silent Utility Rover Universal Superstructure (kb. csendes hasznos vándorló univerzális szuperszerkezet) kifejezést. Ezt a nevet kapta a GM fejlesztése. (– Szerk.)
- 6 400 mérföld: mintegy 644 km.
- 7 A Magyar Honvédség szempontjából jelen tanulmány szerzője „béke időszak”-nak tekint minden olyan időszakot, amelyre nem vonatkozik a Magyarország alaptörvényének 48–54. cikke szerinti különleges jogrend.
- 8 European Defence Agency – EDA.
- 9 Defence RESilience HUB Network in Europe.
- 10 SRSP – Structural Reform Support Programme.
- 11 Command, Control, Communication and Computers.
- 12 Single Fuel Concept.
- 13 NATO-kód: F-34.
- 14 Energy & Environment Working Group.
- 15 NATO Science and Technology Organization (STO).

(Illusztráció a szerző gyűjteményéből)

HM ZRÍNYI TÉRKÉPÉSZETI ÉS KOMMUNIKÁCIÓS SZOLGÁLTATÓ KÖZHASZNÚ NKFT.

Telephely: 1024 Budapest II., Szilágyi Erzsébet fasor 7–9. • 1276 Budapest 22, Pf. 85 • +36 (1) 336-2030 • www.topomap.hu • hm.terkepzeset@topomap.hu



- Topográfiai térképek
- Fakszimile térképek
- Atlaszok, város- és autótérképek
- Falitérképek
- Szabadidőtérképek
- Légiforgalmi térképek
- Munkatérképek
- Dombortérképek
- Digitális térképészeti adatbázisok
- Egyéb digitális termékek
- Légifilmtári szolgáltatások

- PrePress – Nyomdai előkészítés
 - szöveg-, grafika- és képfeldolgozás, kiadványszerkesztés
 - ellenőrző nyomatok, digitális proofok előállítás
 - bel- és kültéri tablók, bannerek nyomtatása
 - hagyományos és elektronikus montírozás, színrebotás
 - nyomóformák előállítása nyomdai filmről, illetve CTP-technológiával
- Gyorskioszorosítás
 - színes és fekete-fehér másolás/nyomtatás 350 x 487 mm méretig
- Press – Nyomtatás
 - ofsetnyomtatás négy-, illetve hatszínnyomó gépeken, 89 x 126 cm méretig
- PostPress – Kötészeti feldolgozás
 - felületnemesítés fóliázással, laminálással 167 cm szélességig
 - hajtogatás, spirálozás, sorszámozás
 - összehordás, irkakészítés, ragasztókötés
 - kasírozás, táblakészítés, aranyozás
 - szortiment könyvkötészet
- Vákuumformázás
 - vákuumformázó szerszámok, terepasztalok előállítása CNC-technológiával
 - vákuumformázás

ÜGYFÉLSZOLGÁLAT ÉS TÉRKÉPBOLT:

1024 Budapest II., Filler u. 14.

+36 (1) 212-4540 • ugyfelszolgalat@topomap.hu

Nyitva tartás: hétfő–péntek 9.00–16.30

NYOMDAI GYÁRTÁSELŐKÉSZÍTÉS: +36 (1) 336-2035



113. ábra. A díszszemle zárásaként 6 db Szuhoj Szu-26SzM csatarepülőgép az orosz trikolor színeivel festette be a moszkvai égboltot

Zentay Péter*

„Vitézek” a Vörös téren – az orosz légierő vadászgépei XI. rész

Sorozatunk előző részében az orosz légierő merevszárnyas repülőgépei közül a hadászati bombázókkal és szállító repülőgépekkel ismerkedhettünk meg. A korszerű orosz haditechnikát bemutató cikksorozat záró részében az orosz légierő azon vadász-repülőgépei kerülnek sorra, amelyek az elmúlt évek moszkvai győzelem napi díszszemléin szerepeltek.

A vadászrepülő bemutatóját négy egyszemélyes, könnyű, többcélú Mikojan-Gurjevics MiG-29M (SzMT) (*Микоян-Гуревич МиГ-29М СМТ*) kezdte (114. ábra). A MiG-29M a Magyar Honvédségben a közelmúltig rendszerben tartott MiG-29B elfogó vadászgép egyik legkorszerűbb változata, amely modern hajtóművet, megerősített vázszerkezetet kapott, és többcélú felhasználásra (földi célpontok támadására) is felkészítették. Hosszúsága 17,32 m, szárnyfesztávolsága 11,36 m, magassága 4,73 m, legnagyobb felszálló tömege 22,3 t. Két db, egyenként 86,3 kN tolóerejű, kétáramú, utánégetős RD-33K típusú gázturbinás sugárhajtómű hajtja, amelyekkel képes elérni a 2500 km/h legnagyobb sebességet, illetve földközeli 1500 km/h-s sebességet; hatótávolsága 2700 km. Hat tonna tömegű fegyverzetet (levegő-levegő és levegő-föld rakétákat, valamint légibombákat) képes hordozni, továbbá egy 30 mm-es (9-A-4071K) GS-30-1 gépágyúval rendelkezik [247].

A következő négyes kötelék Mikojan-Gurjevics MiG-31K nagy hatótávolságú, kétszemélyes, szuperszonikus, elfogó

és támadó vadászgépekből állt (115. ábra). A repülőgépet a MiG-31 BM⁷ (*МиГ-31БМ*) (116. ábra) változat alapján fejlesztették [248]. E vadászgép olyan egyedi konstrukció, amelyet Oroszország hatalmas területei és hosszú határszakai feletti járőrözésére fejlesztettek ki. A gépet különösen nagy sebesség és magasság elérésére tervezték a szuperszonikus bombázók, felderítőgépek és vadászrepülőgépek elleni tevékenység érdekében (eredetileg az F-111 elfogására). Képességeit nagy teljesítményű hajtóművei és jelentős üzemanyag-készlete garantálják. A két D-30F6 típusú, kétáramú, kétforgórészes, utánégetős gázturbinás sugárhajtóműve egyenként 152 kN tolóerőt biztosít [249]. A MiG-31 típus nagy hasznos teherbírása, és különösen az a tény, hogy jelentős magasság elérésére képes, tette alkalmassá a típust, hogy alacsony pályán repülő műholdak elleni rakéták indítóplatformjául is szolgáljon. A Szovjetunióban több fejlesztés is folyt ezen a területen. Napjainkban – a fejlesztések eredményeit felhasználva – fejlesztették a MiG-31K típusú repülőgépet, amely így a H-47M2 hiperszonikus Kinzsál (*Кинжал* – harci tör) rakéta indító platformjává vált.

A repülőgép fő adatai: hosszúsága 22,69 m, szárnyfesztávolsága 13,46 m, teljes tömege 45,75 t, legnagyobb sebessége 3000 km/h, földközeli 1600 km/h, elérhető legnagyobb repülési magassága 30 km. Hatótávolsága 1450 km. Saját fegyvere a 23 mm-es, hatcsövű, gázműködtetésű, Gatling típusú (9-A-620) GS-6-23 gépágyú.

* Egyetemi docens, NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar. ORCID: 0000-0002-3161-8829



114. ábra. Mikojan-Gurjevics MiG-29M vadászpilóta-kötél



115. ábra. Mikojan-Gurjevics MiG-31K vadászpilóta H-47M2 Kinzsal hiperszonikus rakétával

A H-47M2 rakétát – amelynek sebessége meghaladja a 10 M-ot, hatótávolsága a 2000 km-t – a Tu-22M3 és a hírek szerint az új Szu-57 típusú repülőgépek is hordozhatják. A Tu-22M3 nagy mérete miatt jobban felismerhetővé teszi a fegyvert, és a Szu-57 lopakodó képességét csökkenti a külsőleg függesztett rakéta [258]. Ezért jelenleg a MiG-31K nyújtja a legjobb megoldást a rakéta hordozásához és indításához. A vadászgép kis mérete, nagy teljesítménye és főként a nagy sebessége ideális képességet biztosít a fegyver hordozásához, mivel a MiG-31K egyben a rakéta első fokozatának szerepét is játssza [250].

A légi bemutatón a Szuhoj Szu-24M2 (Cy-24M2) front-bombázók kötetlét következett (117. ábra). A Szu-24M (Cy-24M) egy változtatható szárnynyílású, felső szárnyelrendezésű, kéthajtóműves, szuperszonikus vadászbombázó. A szárny hátranyílása 16° és 69° között, négy fokozatban állítható. A személyzet a törzsben egymás mellett, K-36DM katapultülésben foglal helyet. A repülőgép fő rendeltetése földi és vízfelszíni célok támadása hagyományos légibombáival, rakétáival és harcászati nukleáris fegyverekkel. Fegyverzete a 23 mm-es (9-A-768) GS-23-2M gépágyú, valamint további nyolc fegyvert külön függesztőpontokon hordozhat: 2 db R-60-as levegő-levegő rakétát, különféle precíziós (H-25ML), hajó elleni (H-35), lokátor elleni (H-58) levegő-föld osztályú rakétákat, nem irányított rakétákat (SZ-25) és légibombákat. Hajtóművei: 2 db AL-21F-3 típusú, egyenként 110 kN tolóerejű, egyforgórészes, utánégetős, gázturbinás sugárhajtómű.

116. ábra. Mikojan-Gurjevics MiG-31BM nagy hatótávolságú elfogó vadászgépkötél





117. ábra. A már klasszikusnak tekinthető Szuhoj, Szu-24M2 frontbombázó-kötélék

Méretei: hosszúsága 24,6 m, szárnyfeszítávolsága 16°-os hátranyilazásnál 17,64 m, magassága 6,2 m. Legnagyobb felszállótömege 39,7 t, legnagyobb sebessége 1700 km/h, földközeli 1400 km/h, legnagyobb hatótávolsága 3055/560 km. Létezik egy gyengén felfegyverzett felderítő típusváltozata is, a Szu-24MR [251, 252].

Az utolsó négy alakzatot ugyancsak a Szuhoj gépcsald típusai alkották. Az első kötélék négy Szuhoj Szu-57 típusú, egyszemélyes, többcélú lopakodó vadászgépből állt (118. ábra). A típus az orosz légierő első 5. generációs vadászgépe. A gép képes légi utántöltésre, szuperszonikus sebesség elérésére, a hajtóműből kiáramló gázok irányának szabályozásával szupermanőverezésre, valamint a hangsebesség átlépésére a hajtómű utánégető rendszeré-

118. ábra. Szuhoj Szu-57 az orosz légierő első, hadrendbe állított 5. generációs vadászpülőgépe, modern, pixeles festéssel



nek bekapcsolása nélküli is. Utazósebessége hangsebesség feletti. Trapéz alakú integrált szárnyelrendezésű, a belépő élnél örvényszabályozó szárnyakkal. A típus alacsony felépítésű, meredeken kifelé dőlő vezérsíkokkal épült. A Szu-57 saját fegyverzete a hozzá fejlesztett 30 mm-es (9-A1-4071K) gépágyú, amely a GS-30-1 gépágyú módosított változata, továbbá három, belső fegyvertartóban elhelyezett rakéta- és légibomba fegyverzet.

A prototípusnál (T-50) a kétáramú, utánégetős AL-41F1 gázsugárirány típusú szabályozású, gázturbinás sugárhajtóművet alkalmazták, azonban a Szu-57-eshez a valós 5. generációs képességek eléréséhez egy új hajtóművet fejlesztettek ki (30-as termék – *Издение 30*). Az eszköz technikai adatait még nem hozták nyilvánosságra [252, 253, 254].

A szupermanőverezéshez tartoznak azok a repülési módok, amelyeket hagyományos szárnyelrendezéssel lehetetlen végrehajtani. Ezeket a manővereket általában a gázsugár erejének szabályozása mellett, a sugár irányának a szabályozásával együttesen oldják meg. A gázsugár irányának a szabályozását a hajtómű gázkiáramlásának sebességfokozó mozgatásával végzik. Ezt a megoldást már a 1970-es években kidolgozták, de bonyolultsága (a vezérlés és a végrehajtó szervek extrém igénybevétele), alacsony megbízhatósága és nagyon magas költsége miatt – s mivel a látóhatáron túli harcnál kisebb a jelentősége –, nyugaton nem terjedt el. Amerikai vadászgépeknél napjainkban is csak a legmodernebb és a különleges feladatokra tervezett gépeknél alkalmazzák. Az orosz mérnököknek sikerült a szerkezetet megfelelően kidolgozniuk, és a konstrukciót egyszerűsíteniük. A kiforrott gyártástechnológia lehetővé tette a bonyolult megoldás költségkalkulációját is. Ezért ezzel a képességgel szinte „szériatartozékként”, minden modern vadászgépet el tudnak látni az orosz légierőnél [252].

A következő összetett kötéléket négy Szuhoj Szu-34, négy Szu-30SzM és két Szu-35Sz típusú repülőgép alkotta (119. ábra).

119. ábra. A Szuhoj család kötéléke: 4 db Szu-34 vadászbombázó (trapéz alakban), mellettük (balra és jobbra 2-2) Szu-30SzM többcélú nehéz vadászgép és (hátról/alul) 2 db Szu-35Sz szupermanőverező többcélú elfogó vadászgép





120. ábra. Szu-34 vadászbombázó-kötélék

A Szuhoj Szu-34 (T-10V) harcászati szuperszonikus vadászbombázó, illetve frontbombázó. Elsődleges feladata a földi és vízfelszíni célok precíziós támadása hagyományos és nukleáris fegyverekkel. Jelenleg az orosz légierő egyik fő támadó repülőgépe (120. ábra). A frontbombázó, amelyet a Szu-27 típus alapján terveztek. A jobb manőverezés érdekében az integrált, 42°-ban hátranyilazott szárny előtt, ún. „kacsaszárnyakat” is alkalmaznak, így a gép összesen négy vízszintes vezérsíkkal rendelkezik. A törzsét kiszélesítették, hogy a páncélvédett kabinban a kétfős személyzet egymás mellett foglalhasson helyet. A repülőgép erőforrása két, egyenként 138,3 kN tolóerejű, kétáramú, utánégetős AL-31F M2-es típusú gázturbinás sugárhajtómű. Saját tömege 22,5 t, maximális felszálló tömege 45 t, hosszúsága 23,3 m, a szárny fesztávolsága 14,7 m, magassága 6,9 m. Legnagyobb sebessége földközeli 1100 km/h utazómagasságban 1900 km/h, a gép eléri a 18 000 m repülési magasságot, hatótávolsága utántöltés nélkül 1100 km. Fegyverzete a 30 mm-es (9-A-4071K) GS-30-1 fedélzeti gépágyú, de a gépet 12 db függesztőponttal is ellátták, amelyeken irányított és nem irányított rakétákat helyezhetnek el: levegő-levegő, illetve levegő-föld osztályú (vagy vízi jármű elleni), irányított légibomba, lokátor elleni rakéta, robotrepülőgép. A fegyverzet össztömege 8–12 t lehet [252, 255].

A Szuhoj Szu-30SzM⁸ egy 4+ generációs, szupermanőverező többcéltű nehéz vadászbombázó, feladatát tekintve

elfogó- és légi fölény vadászgép (119, 121. ábra), amelyet a Szu-27UB oktatógépből fejlesztettek ki. A légi harcok mellett földi támadások végrehajtására is alkalmas. Hajtóművei 2 db, egyenként 122,57 kN tolóerejű AL-31FP kétáramú, utánégetős, gázturbinás sugárhajtómű, gázsugárirány szabályozással. Irányításához, a „kacsaszárnyakkal” együtt összesen négy vízszintes vezérsíkot alkalmaznak. A törzsben a kétfős személyzet egymás mögött foglal helyet. A gép fő méretei: hosszúsága 21,2 m, szárnyfesztávolsága 14,7 m, magassága 6,36 m, legnagyobb felszálló tömege 24,9 t, legnagyobb sebessége 2120 km/h, hatótávolsága 3000 km. Fegyverzete a 30 mm-es (9-A-4071K) GS-30-1 fedélzeti gépágyú és (egyszerre 12 ponton függeszthető) irányított és nem irányított levegő-levegő, levegő-föld típusú rakéták, valamint légibombák [252].

A Szu-35SzM⁹ többcéltű, szupermanőverező, 4+++ generációs, együléses vadászgép, az orosz légierő egyik fő vadászgépe (119. ábra), amely átmenetet képez a Szu-27 és a Szu-57 típusok között.

A gép méretei: hosszúsága 21,9 m, szárnyfesztávolsága 14,75 m, magassága 5,9 m. Maximális felszállótömeg 34,5 t, (8 t hasznos teherrel) legnagyobb sebessége 2,25 M, talajközeli 1400 km/h. Hatótávolság 1580 km (pót üzemanyagtartályok nélkül). Hajtóművei két, egyenként 137,3 kN tolóerejű AL-41F1S utánégetős, kétáramú, gázturbinás sugárhajtómű, gázsugárirány szabályozással. A sárkányszerkezet kialakításakor a Szu-27 típusú nehéz vadászgépet vették alapul, amelynél a kacsaszárny-elrendezésű kormányfelületek helyett a gázsugárral történő irányítást alkalmazták. Fegyverzete a 30 mm-es (9-A-4071K) GS-30-1 fedélzeti gépágyú és összesen 8 t irányított és nem irányított levegő-levegő, levegő-föld osztályú és hajó elleni rakéták, illetve légibombák (egyszerre 12 ponton függesztve) [252, 256].

A légi parádén az Orosz Vitézek és a Sárlósfecskék (Русские Витязи и Стрижи) öt Szu-30SzM és négy MiG-29M repülőgépből álló híres „Kubinka gyémánt” alakzata következett (122. ábra). Érdekesség, hogy a műrepülő csoportok nem átalakított, hanem szériagyártását (és hadrendben lévő) gépeket használnak a bemutatókon.

A díszszemlélt hat, egymás mellett kötelékben repülő Szuhoj Szu-25SzM (Cy-25CM) csatarepülőgép zárta, melyek az orosz zászló színeit festették az égboltra (113. ábra). A Szu-25SzM egyszemélyes, hangsebesség alatti, páncélozott, támadó repülőgép. Fő feladata a szárazföldi csapatok támogatása és földi célpontok (létesítmények) támadása. 1981-óta áll hadrendben a szovjet, majd később az orosz légierőnél. Mozgékonysága, valamint az a tény, hogy lassú repülési sebességre is képes (különösen a Szu-39-változat) alkalmassá teszi drónok és UAV-k elfogására. A repülőgép felsőszárnyas kialakítású, a szárnyak 20°-ban hátranyilazottak, erőforrása két, egyenként 40,204 kN tolóerejű, R-95S kétforgórészes gázturbinás su-





121. ábra. Öt Szu-30SzM többfunkciós, szupermanőverező képességű, kétüléses nehéz vadászgép az Orosz Vitézekről és négy MiG-29M többfunkciós könnyű vadászgép a Sarlósfecskék műrepülő csoportból. Látványos a két repülőgéptípus közötti méretkülönbség

gárhajtómű. A gép teljes hosszúsága 15,36 m, szárnyfeszítávolsága 14,36 m, magassága 4,8 m. Legnagyobb felszállótömege 17,6 t, legnagyobb sebessége 950 km/h, maximális hatótávolsága 640 km. A vadászgép fegyverzete: 30 mm-es (9A-623) GS-30-2 ikercsöves gépágyú; a szárnyakon kialakított 10 db felfüggesztési ponton, összesen 4000 kg tömegű (R-60 levegő-levegő, H-25ML, H-29ML levegő-föld irányított rakéta; indítóblokkokban Sz-5, Sz-8, Sz-12, Sz-24 nem irányított levegő-levegő és levegő-föld osztályú rakéta, valamint 100-500 kg légibomba) [252, 257].

A hajtóművekből kiáramló trikolor színek lassan eloszlottak a Vörös tér felett. A katonazenekar a díszszemle alatt végig játszott, majd ünnepélyesen levonult a térről. Oroszország legnagyobb állami ünnepén a légi bemutató véget ért.

2020-ban – a koronavírusjárvány miatt – a látványos moszkvai díszszemlét május 9-e helyett június 24-én, az 1945-ös első díszszemle 75. évfordulóján rendezték meg. A nagyszabású ünnepségen számos II. világháborús eszköz is felvonult, amelyeket a legújabb haditechnikai eszközök követtek. Közülük jónéhányat, jövőbeli fejlesztésként már említettünk cikksorozatunkban, a felvonuláson a legkorszerűbbeket be is mutatták. Ezen harceszközök ismertetése azonban már nem térünk ki.

Az elmúlt évek díszszemléi alapján bepillantást kaphatunk Oroszország modern haditechnikaeszköz-fejleszté-

122. ábra. A Kubinka gyémánt: az Orosz Vitézek és a Sarlósfecskék akrobatacsoportok 5 db Szu-30SzM és 4 db MiG-29M vadászrepülőgépeiből álló alakzat



(Fotók: Zentay Péter és Hajnal Ágnes)

sébe. A korszerűsítések számos esetben még a Szovjet-unióban kezdődtek, és napjainkra váltak teljessé. A 2015-ös díszszemle óta azonban egy merőben új haditechnikai trendet is megfigyelhetünk, amelyen belül a fejlesztések már teljesen az Orosz Föderációban zajlottak. Az eszközök paramétereik alapján világszínvonalúak és méltó ellenfelei a NATO-országok haditechnikai eszközeinek. A harcjárművek alkalmazzák a modern kommunikációt és elektronikát, illetve nagyobb figyelmet fordítottak a személyzet védelmére, valamint munkakörülményeinek komfortja is. A legtöbb haditechnikai fejlesztést védelmi (kiemelten légi és partvédelmi) eszközökön hajtották végre.

Reméljük, hogy cikksorozatunkkal sikerült közelebb hoznunk a Tisztelt Olvasóhoz a modern orosz haditechnikát és segíthettünk kiigazodni a május 9-ei díszszemléken bemutatott eszközök között.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [247] „МиГ-29М, многофункциональный истребитель” *Оружие России* <https://www.arms-expo.ru/armament/samples/986/65815/>;
- [248] МиГ-31БМ, истребитель-перехватчик, *Оружие России* <https://www.arms-expo.ru/armament/samples/988/64941/>;
- [249] „Военный турбовентиляторный двигатель Д-30Ф6”, Elérés: 2020. 09. 15. <http://pmz.ru/eng/products/military/D-30F6/>;
- [250] „Гиперзвуковой бросок «Кинжала»: конкуренты еще - в «пеленках»” Elérés: 2020. 09. 15. <https://zvezdawebkly.ru/news/t/20185211547-L3aOs.html>;
- [251] Сергей Мороз, *Фронтальной бомбардировщик Су-24Су-24М Киев, 2001*;
- [252] Николай Якубович *Все авиашедевры Сухого – от Су-2 до Су-27 и Т-50, Москва: Яуза, Эксмо, 2015.*;
- [253] “Испытания скорострельной пушки истребителя Т-50 попали на видео” Elérés: 2020. 09. 15. <https://rg.ru/2016/09/17/ispytaniia-skorostrelnoj-pushki-istrebitelia-t-50-popali-na-video.html>;
- [254] „Тулское КБП разработало авиапушку для истребителя пятого поколения” <https://www.tsn24.ru/news/obshchestvo/2016-06-15-tulskoe-kbp-razrabotalo-aviapushku-dlya-istrebitelya-pyatogo-pokoleniya/>;
- [255] Михеев А., Фомин А. *Фронтальной бомбардировщик Су-34, Любимая книга, 1995.*;
- [256] „Су-35-Одноместный многофункциональный сверхманевренный истребитель” Elérés: 2020. 09. 15. <http://www.knaapo.ru/products/su-35/>;
- [257] Су-25. Штурмовик. (История. Конструкция. Вооружение. Боевое применение), Бурдин С, Harvest, 2004;
- [258] Александр Хроленко, „Гиперзвуковое оружие России и космическое возбуждение Пентагона,” *Sputnik*, 2018.03.10. <https://lt.sputniknews.ru/amp/columnists/20180310/5346549/oruzhie-russia-pentagon.html>.

JEGYZETEK

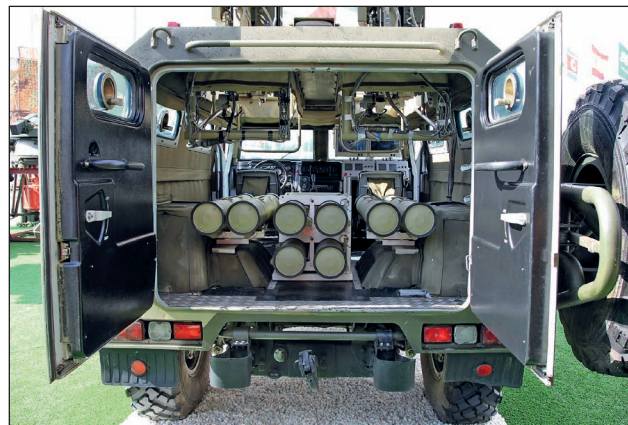
- 7 BM – a repülőgépeknél a (BM – Большая Модернизация – nagyszabású modernizáció) jelzés lényeges modernizációt jelent.
- 8 SzM (серийный модернизированный) a szériamodernizációra utal, kifejezetten az orosz légierő számára szükséges módosításokkal felkészített változatok.

Vincze Gyula*

A Kornet–D önjáró páncéltörő rakétakomplexum

Az orosz hadiipar elmúlt évtizedben végzett aktív tevékenységét a Kornet–D (NATO-kód AT-14 Spriggan) páncéltörő rakétakomplexum fejlesztésének példája is bizonyítja. A Tula székhelyű KBP Instrument Design Bureau Joint-stock Company (Конструкторское бюро приборостроения Конструкторское бюро приборостроения) orosz tervezőiroda megnövelt lőtávolságú és páncélatütő képességű rakétarendszerét 2015. május 9-én a győzelem napi díszszemlén, a moszkvai Vörös téren mutatták be először. A Kornet–D rakétakomplexum a Kornet alaprendszer továbbfejlesztett változata. A GAZ–233116 Tigr–M 4×4 hajtásképletű, páncélozott hordozóalvázon épített, többcélú rakétarendszert a reaktív páncélzattal és aktív páncélvédelemmel ellátott nyugati harckocsik (M1 Abrams, Leopard 2), páncélozott harcjárművek, erődítmények, bunkerek, élőerő, valamint alacsony sebességű légi és vízfelszíni objektumok (harci helikopterek, pilóta nélküli légi járművek) megsemmisítésére, továbbá a nagy hatótávolságú orosz légvédelmi rakétakomplexumok (Sz–400 és Sz–500) oltalmazására tervezték. A Kornet–D komplexum mostoha

1. ábra. Kornet–D páncéltörő rakétakomplexum GAZ–233116 Tigr–M páncélozott hordozóalvázon, kiemelt indítóegységgel



2. ábra. GAZ–233116 Tigr–M jármű nyitott hátsó ajtókkal, hátulnézetben

időjárási viszonyok között, napszaktól függetlenül, aktív és passzív optikai és elektronikai zavaróeszközökkel védett célpontok támadására is képes. A KBP hivatalos weboldalán a Tigr–M-re szerelt komplexumot Kornet–EM-nek, az orosz fegyveres erőknél Kornet–D-nek, exportváltozatát Kornet–EM-nek nevezik.

Az összerékhajtású hordozójármű STANAG 4569 1. szintű ballisztikai védelmet nyújt az 5,56 és 7,62 mm-es NATO-standard lövedékek, gránátrepeszek, valamint rögtönzött (háziilag készített) robbanóeszközök hatása ellen. A járműtest, az ajtó- és ablaküvegek repesz- és lövedékálló. A jármű védelmét erősíti oldalanként két-két füstgránátvető is. Erőforrása egy YaMZ–5347–10 típusú turbófeltöltős, töltőlevegő hűtős, 158 kW (215 LE) teljesítményű, ötfokozatú kézi sebességváltóval szerelt, EURO 4-es környezetvédelmi besorolású dízelmotor. A jármű küzdőtere légkondicionális és szűrő-szellőztető berendezéssel, a motortér automatikus tűzoltó rendszerrel ellátott. A motor a járműtest mellső részében, a kétfős legénység (járművezető és az irányzó) középen, az ikerrakéta-indítóegység – a tartalék indítókonténerben elhelyezett rakétákkal együtt – hátul kapott helyet.

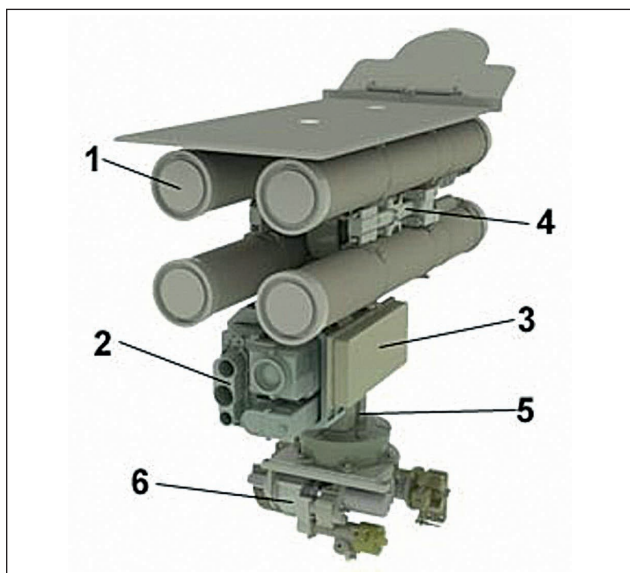
ÖSSZEFOGLALÁS: A Kornet–D egy megnövelt hatótávolságú, harckocsik elleni irányított rakétarendszer, amelyet az orosz KBP Instrument Design Bureau JSC gyárt. A Kornet–D-t az aktív páncélvédelmi rendszerrel és reaktív páncélzattal ellátott nyugati harckocsik, páncélozott harcjárművek, erődítmények, bunkerek, az élőerő, valamint alacsony sebességű légi és vízfelszíni objektumok megsemmisítésére tervezték. 8000 m távolságból 1100–1300 mm vastag homogén páncél átütésére képes.

KULCSSZAVAK: Kornet–D páncéltörő rakétarendszer, GAZ–233116 Tigr–M hordozójármű, automatikus rakétaindító-egység, lézerirányítású rakéta, tandem kumulatív harci fej, termobárikus robbanófej, hőképpalkotó irányzék

ABSTRACT: The Kornet-D is an extended-range, anti-tank guided missile system manufactured by the Russian KBP Instrument Design Bureau JSC. It is designed to destroy Western tanks equipped with active armour protection system and reactive armour, armoured fighting vehicles, fortifications, bunkers, manpower, and low-speed air and water surface objects. It is capable of penetrating 1100–1300 mm of homogeneous armour from a distance of 8000 m.

KEY WORDS: Kornet-D anti-tank missile system, GAZ–233116 Tigr–M mobility vehicle, automatic missile launch unit, laser-guided missile, tandem shaped-charge warhead, thermobaric warhead, thermal imaging sighting equipment

* Nyá. mérnök alezredes. ORCID: 0000-0002-3732-4573



3. ábra. Automatikus rakétaindító-egység

1. 4 db páncéltörőrakéta-indítókonténer
2. Nappali és hőképkövető irányzék
3. Integrált irányítórendszer automatikus célkövetővel
4. Rakétasínek
5. Magassági- és irányzög beállítók
6. Emelő-süllyesztő mechanizmus

A Kornet-D egy harmadik generációs, fire-and-forget (tüzelj, és felejtse el) elv alapján működő, nagy hatótávolságú, önjáró páncéltörő rakétakomplexum. Rakéta-javaldalmazása 16 db, amelyek közül 8 db tűzkész állapotban lévő, irányított rakéta. A rendszer egymástól függetlenül működő, 4-4 db tűzkész rakétával szerelt, automatikus iker-indítóegységből (tömege $2 \times 75,2$ kg), illetve 8 db indítókonténeres tartalék rakétából áll. Menethelyzetben a modul a járműtestben, süllyesztett állapotban helyezkedik el, ahonnan tüzelési pozícióba történő kiemelését teleszkópos emelőmechanizmus biztosítja. Az indítóegységet (3. ábra) irányzó modullal, nappali és hőképkövető irányzékkel, nagy felbontású képet közvetítő nappali kamerával és harmadik generációs hőkamerával, lézeres távolságmérővel, lézer rávezető csatornával, valamint automatikus célkövető rendszerrel látták el. Új, 12-szeres és 20-szoros, állítható nagyítású célcsatorna javítja a célérzékelési tartományt, és csökkenti a célzási hibákat. A nappali irányzék nagy látószöge $4 \times 4^\circ$, kis látószöge $1 \times 1^\circ$. Az éjszakai irányzék nagy látószöge $5,8 \times 7,3^\circ$, kis látószöge $1,9 \times 2,4^\circ$. Az akkumulátoros táplálású, hűtőpalack nélküli működésre konfigurált hőképkövető irányzék 1,5 h folyamatos üzemre képes, üzemi hőmérsékletre történő lehűléséhez 7 s szükséges.

A Kornet-D komplexum fire-and-forget képesség lehetővé teszi két különböző indítási távolságú, irány- és magassági szögű céltárgyra történő egyidejű tűzkiváltást. A rendszer képes egy másodpercen belül két rakéta indítására, akár azonos, akár két különböző célra. Két rakéta egy célpontra történő irányítása jelentősen növeli a tűzsűrűséget, és ezzel a tűz hatékonyságát. Ha ugyanis a reaktív páncéltörővel felszerelt célon aktív védelmi rendszer is működik, akkor az első rakétát a harckocsi védelmi mechanizmusa nagy valószínűséggel megsemmisíti, de a második rakéta ellen a 0,2-0,4 s reakcióidejű rendszer aligha képes újabb védőtöltetet indítani. Így a tandem harci fejjel szerelt második rakéta előtöltete lerobbanthatja a harckocsi reaktív páncélelemét, majd a 152 mm-es főtöltet átűtheti a páncélatot.

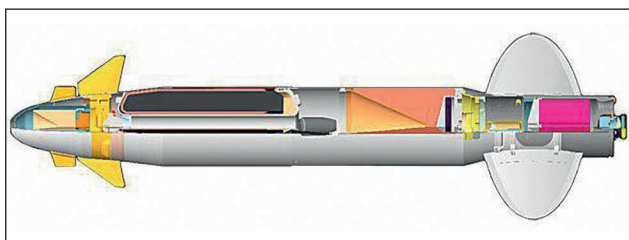
A komplexum automatikus célkövető rendszerrel felszerelt, amelynek segítségével a célkövetés és a rakéta célra vezetése önműködő, csökkentve az emberi tényező szerepét. A fire-and-forget rendszerű indítóegység lézersugárral ábrát bocsát ki a cél irányába. A rakéta célkeresője érzékeli a lézersugarat, autonóm módon követi a célt és annak mozgásától függetlenül, nagy valószínűséggel el is találja. Az automatikus célkövető a céltárgyat mindaddig a lézersugárban tartja, amíg az meg nem semmisül, vagy az irányzó le nem kapcsolja. Az irányzó az indítóegységet a hordozójármű első ülésénél kialakított LCD-kijelzős kezelőpanelről vezérli. Felderíti, kiválasztja a célt, és aktiválja a rakéta keresőfejét. A célkeresztet ráközelíti a célra, és a célkövetés gombbal rögzíti azt. (A rakéták vízszintesen $\pm 180^\circ$, függőlegesen -5° és $+45^\circ$ közötti irányzási szögtartományban pozícionálhatók.) Miután az irányzó a célt beirányozta, a tüzelés gombbal indítja a tűzkiváltás folyamatát, és az indító töltet kivetíti a rakétát az indítókonténerből. A vetőtöltet felgyorsítja a rakétát, majd a biztonsági távolságon túl, beindul a szilárd üzemanyagú hajtómű, amely egészen a célba csapódásig működik. A fire-and-forget rendszerben az irányzó feladata az indítás után véget ér, a rakéta a teljes röppályán önirányítással repül, hiszen az automatikus célkövető vezeti rá a célra. Ha a rakéta repülése közben az irányzó egy fontosabb célpontot észlel, az automatikus irányítást megállíthatja, és a rakétát az új célra rávezetheti. A rakéta becsapódása után a célirányozás megszűnik, és újabb cél hiányában, vagy az üres indítókonténerek cseréje miatt az indítóegység visszasüllyeszthető a járműtestbe, és percek múlva tűzkész állapotba hozható. Az indítás, a hordozójárműtől maximum 50 m távolságra távirányítással is végrehajtható.

A Kornet-D komplexum képes a Kornet alaprendszer valamennyi rakétáját alkalmazni, az 1000 mm homogén páncél átégetésére képes 9M133 típusú tandem robbanófejes, harckocsik elleni irányított rakétától a nagy rombolóerejű harci fejjel szerelt 9M133F típusúig. Fő fegyverét azonban az újonnan kifejlesztett 9M133M-2, 9M133FM-2 és a 9M133FM-3 rakéták képezik, amelyek a harci töltetek egyes jellemzői és típusai szerint különböznek egymástól. Max. hatótávolságuk 5500-ról 10 000 m-re nőtt, és akár 1300 mm-es homogén páncél átütésére is képesek. Indítókonténereik hosszúsága egységesen 1210 mm, tömegük nem haladja meg a 33 kg-ot.

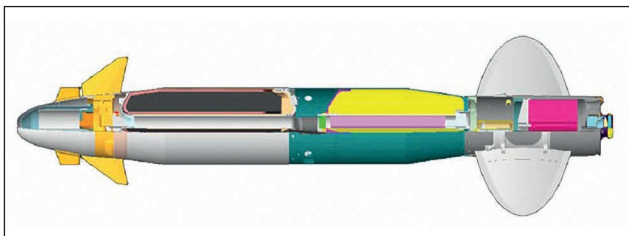
A 9M133M-2 tandem kumulatív harci fejjel szerelt rakétát alapvetően a reaktív páncéltörővel és aktív védelmi rendszerrel ellátott harckocsik, páncélozott harcjárművek megsemmisítésére alkalmazzák. 152 mm-es átmérőjével az egyik legnagyobb méretű páncéltörő rakéta, amelyet valaha

4. ábra. Az irányzó kezelőpaneljei a jármű műszerfalára rögzítve





5. ábra. A 9M133M-2 páncéltörő rakéta metszeti képe



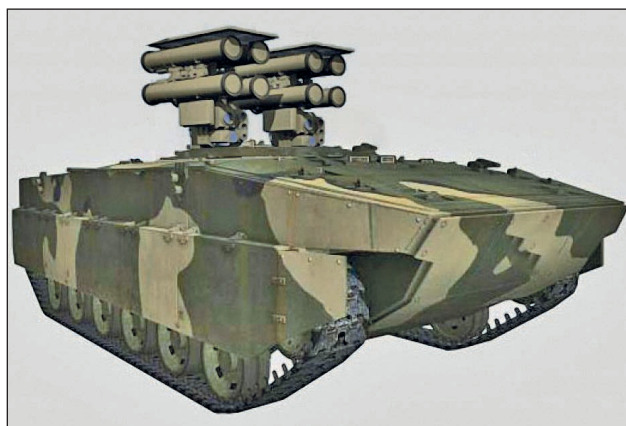
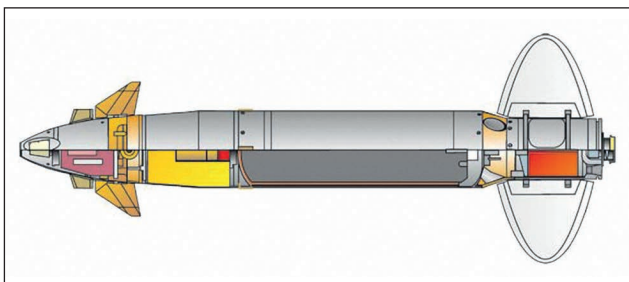
6. ábra. A 9M133FM-2 irányított rakéta metszeti képe

gyártottak. A tandem harci fej üreges töltetei a rakétatest mellső és hátsó részében, a szilárd hajtóanyagú hajtómű az üreges töltetek között a rakéta közepén, míg a lézeres vevő a farokrészben kapott helyet. A rakéta irányítását vezérlő lézervevőt a rakétán nem a cél felé, hanem az indítómodul felé fordították, így a cél esetleges védekezése, füstfejlesztése nem befolyásolja a rakétavezérlést. A harci fej 1100-1300 mm homogén páncél átütésére képes. Indítási távolsága 150-8000 m, repülési sebessége 300 m/s, tömege 31 kg.

A 9M133FM-2 termobárikus harci fejjel ellátott, irányított rakéta alapvetően helységarcra, élőerő ellen, továbbá erődítmények és bunkerek megsemmisítésére szolgál. A rakéta robbanófeje becsapódáskor lyukat üt a bunker falán, amelyen keresztül nagy nyomással egy robbanó eleggyé alakuló rendkívül gyúlékony anyag áramlik be. A bekövetkező robbanás gyorsan terjedő tűzgolyót hoz létre, amely az összes oxigént elfogyasztja az adott helyen. Pusztító erejét a robbanáskor keletkező igen magas hő- és lökhullám tovább fokozza. A rakéta indítási távolsága, sebessége, méretei és tömege megegyeznek a 9M133M-2 páncéltörő rakéta paramétereivel. A robbanófej töltete 10 kg TNT-vel egyenértékű.

A 9M133FM-3 megnövelt tolóerejű hajtóművel, de csökkentett robbanótöltetű harci fejjel szerelt irányított rakétát a magas veszteségokozásra képes harci helikopterek és drónok pusztítására tervezték. Kialakítását, belső elrendezését módosították: a harci fej a fejszerkezet mögötti rezekszben, a nagy méretű, szilárd tüzelőanyaggal működő hajtómű pedig a harci fej mögött kapott helyet. A megjelölt légi vagy földi céltől függően, az irányzó be- vagy kikapcsolhat egy közelségérzékelő szenzort. A szenzor kikap-

7. ábra. 9M133FM-3 irányított rakéta metszeti képe



8. ábra. Kornet-D1 páncéltörő rakétakomplexum látványképe BMD-4M láncalpas harcjárművön

csolt állapotában a detonáció a rakéta célba csapódásakor, bekapcsolt állapotában a cél közelében következik be. Indítási távolsága 150-10 000 m. Robbanótöltete 7 kg TNT-vel ekvivalens. A megnövelt tolóerejű hajtómű miatt repülési sebessége 320 m/s-ra nőtt. Tömege 33 kg.

Az eltérő műszaki jellemzőkkel bíró Kornet-D rakéták lehetőséget biztosítanak az irányzó számára a célpontok pusztításához legmegfelelőbb rakéta kiválasztásához. Indítási távolságuk a vezető nyugati páncéltörő rakétákhoz viszonyítva (Spike-LR 5000 m, TOW-2A 3750 m, FGM-148 Javelin 2500 m) vitathatatlanul jobb, bár az izraeli fejlesztésű Spike-ER (8000 m) és Spike-ER2 (10 000 m) hasonló, a Spike NLOS irányított páncéltörő rakéta pedig jelentősen nagyobb hatótávolságú rakéta. A Kornet-D rakétákat az orosz T-15 Armata és a Kurganyec-25 láncalpas gyalogsági harcjárművek tornyain, valamint a Bumerang K-17 páncélozott kerek harcjárművek fegyverzeteként is használják. Jól kiképzett kezelők percenként akár két rakéta indítására is képesek, ha az elhasznált indítócsöveket az indítóállványról eltávolítják, és a lézeres célzókészüléket az új rakétára csatlakoztatják.

2019. januárban az orosz védelmi minisztérium bejelentette, hogy a légierő légideszant csapatatainak tűzérését megerősítendő, megkezdődtek a BMD-4M (Боевая Машина Десанта-4) láncalpas, úszóképes, légideszant hordozójárműre integrált új Kornet-D1 páncéltörő rakétakomplexum állami próbái. Az új, Kornet-D1-nek nevezett komplexumtól az ejtőernyős egységek páncéltörő tűzerejének jelentős növelését várják (8. ábra).

A Kornet-D önjáró páncéltörő rakétakomplexum az orosz haderő legmodernebb és leghatékonyabb lézervezérlésű páncéltörő rakétafegyvere. Megjelenése az orosz hadsereg fegyverarszenáljában kétségtelen veszélyt jelent a NATO-országok páncélosaira. A KBP fejlesztőinek harci modelleken alapuló prognózisa szerint, ha egy támadó kötelék több mint 30%-os veszteséget szenved, már nem képes tovább támadni, lemond támadási szándékáról. Internetes oldalakon demonstrálják, hogy a teljes löszerkészletű Kornet-D komplexum képes arra, hogy egy előrenyomuló, hat harckocsiból álló köteléknek több mint 30%-os veszteséget okozzon. A komplexum négy páncéltörő rakétával egyidejűleg két célpontra tüzelhet, tűzgyorsasága 2,5 lövés/perc. A rakéták indítási távolsága jelentősen felülmúlja a harckocsiágyúuk 4000-6000 m-es hatásos lőtávolságát. Ha a harckocsi kötelék a páncéltörő rakéták indítási távolságán belülre ér, a rakéták a harckocsik 50%-át még azelőtt képesek elpusztítani, mielőtt azok a tüzet viszonzni tudnák. Valószínűsíthető, hogy nyolc Kornet-D



1. táblázat. A Kornet-D rakétakomplexum főbb műszaki paraméterei

Rakéták műszaki adatai	
A 9M133M-2 és a 9M133FM-2 rakéták indítási távolsága	150–8000 m
A 9M133FM-3 rakéta indítási távolsága	150–10 000 m
Páncélatűrő képesség	1100–1300 mm
Harci fejek típusa	tandem/termobárikus
Rakétaátmérő	152 mm
Repülési sebesség	300/320 m/s
Rakétairányítási rendszer	automatikus lézersugaras
Nappali irányzék-látószögek	nagylátószög 4×4°, kislátószög 1×1°
Éjszakai irányzék-látószögek	nagylátószög 5,8×7,3°, kislátószög 1,9×2,4°
Lézertáv mérő mérési tartománya	15 000 m
Zavarás elleni védelem	magas fokú
Rakéta-javadalmazás	16 db
Tűzkész rakéták száma	8 db
Indítóegységek száma	2 db
Egy indítóegységről egyidejűleg támadható célok száma	2 db
Indítóegység tűzkész állapotba helyezési ideje	7 s
Üzemi hőmérsékleti tartomány	–20 és +60 C°
A hordozójármű műszaki adatai	
Saját tömeg	7200 kg
Harci tömeg	7800 kg
Hosszúság	5,7 m
Szélesség	2,4 m
Magasság	2,4 m
Páncélzat	SPM-1: 5 mm / SPM-2: 7 mm
Motortípus	YaMZ-5347-10 turbófeltöltős dízelmotor
Teljesítmény	158 kW (215 LE)
Nyomatékváltómű	ötsebességes, kézi
Sebesség közúton/terepen	125/80 km
Emelkedő-leküzdő képesség	60%
Lejtőleküzdő képesség	40%
Gázlóképeség	1,3 m

(Fotók a szerző gyűjteményéből)

komplexum képes egy harcokcsizászlóalj előrenyomulásának megállítására is, így hatásossága összemérhető egy csöves páncéltörő tűzér magasabb egység képességével.

A harcot természetesen a jövőben sem csak harcokcsikkal és páncéltörő rakéta-komplexumokkal, hanem továbbra is a harcban részt vevő csapatok egyesített erőfelfejtésével, a harcokcsikk, a gyalogsági harcjárművek, a tűzér, a légvédelmi eszközök, a helikopterek, valamint más fegyverzeti és technikai eszközök együttes alkalmazásával vívják majd meg.

FORRÁSOK

- Рябов, Кирилл. „Противотанковый ракетный комплекс «Корнет-Д/ЭМ»” *topwar.ru* Elérés: 2020. 07. 02. <https://topwar.ru/85794-protivotankovyy-raketnyy-kom>;
- „Корнет-д - оружие отечества, отечественное” *bastion-opk.ru*, Elérés: 2020. 07. 02. <http://bastion-opk.ru/kornet-d-spu/>;
- „Корнет-ЭМ – пткр без комплексов - Военное обозрение” *topwar.ru* Elérés: 2020. 07. 02. <https://topwar.ru/92555-kornet-em-ptkr-b>;
- „Многоцелевой самоходный ракетный комплекс большой дальности «корнет-д» («корнет-эм»)” <http://bastion-opk.ru/kornet-d-spu/>;
- Akulov, Andrei. „Russian Kornet-EM: Deadliest Tank Killer with Air Defense” *Strategic Culture Foundation* 2016.08.24. Elérés: 2020. 07. 02. <https://www.strategic-culture.org/news/2016/08/24/russian-kornet-deadliest-tank-killer-with-air-defense-capability/>;
- „In Entwicklung: Kornet-EM” *Wargames-News* 2018.02.19 Elérés: 2020. 07. 02. <https://wg-news.com/in-entwicklung-kornet-em/>;
- „Kornet-D/EM Anti-Tank Weapon System” *Thai Military and Asian Region* Elérés: 2020. 07. 02. <https://thaimilitaryandasianregion.wordpress.com/2016/08/20/russia-tests-advanced-new-21st-century-anti-tank-weapon-system-with-full-details/>;
- „Kornet-D anti-tank missile carrier 4x4 armored vehicle data” *Army recognition* Elérés: 2020. 07. 02. https://www.armyrecognition.com/russia_russian_missile_system_vehicle_uk/kornet-d_anti-tank_missile_carrier_4x4_vehicle_tigr-m_gaz-233116_technical_data_sheet_pictures_video_0105153.html;
- Kornet-EM Multi-purpose long range missile system. *kbptula.ru* Elérés: 2020. 07. 02. <http://www.kbptula.ru/en/productions/antitank-guided-weapon/kornet-em/automatic-launcher-on-carriers>;
- „Kornet-em new capabilities of antitank guided weapons” *SP's Land Forces* Elérés: 2020. 07. 02. <http://www.spslandforces.com/story/?id=678>;
- „Kornet-D Anti-tank missile carrier” *military-today.com* Elérés: 2020. 07. 02. http://www.military-today.com/missiles/kornet_d.htm;
- Malyasov, Dylan. „Russian media report Kornet completely 'trashes' latest version of Abrams tank” *Defence blog*, 2019.05.06. Elérés: 2020. 07. 02. <https://defence-blog.com/news/army/russian-media-report-kornet-completely-trashes-latest-version-of-abrams-tank.html>;
- Malyasov, Dylan. „Russia to receive new tank hunter specifically designed to counter America's M1 Abrams” *Defence blog*, 2018.06.12. Elérés: 2020. 07. 02. <https://defence-blog.com/news/army/russia-receive-new-tank-hunter-specifically-designed-counter-americas-m1-abrams.html>.



Kelecsényi István*

A JAS-39C/D Gripen repülőgépek fegyverzete és modernizációs lehetőségei III. rész

A tanulmány első részében a szerző összefoglalta a Gripen repülőgépek fejlesztésének rövid történetét és bemutatta különböző változatait, majd részletesen tárgyalta a különböző szoftvercsomagok integrációját, külön kitérve a SAAB által kifejlesztett MS20 szoftverre, amely a repülőgép irányításáért, a navigációért, fegyverzetének működéséért és a karbantartáshoz szükséges ellenőrzésért felelős. A második rész a Gripenek lokátoraival, fegyverzetével és ellentévékenység-rendszereivel foglalkozott. A sorozatot záró harmadik rész a hazai Gripenekhez korábban beszerzett zavarótöltetek funkcióit és műszaki adatait mutatja be, majd a vadászgépeket gyártó SAAB cég fejlesztési terveit részletezi a C/D változatok, valamint a legújabb generációt képviselő JAS-39E/F Gripen NG (Next Generation) gépeken. A szerző kitér az elektronikai harc-rendszerek és ellentévékenység-rendszerek korszerűsítésére, valamint a hajtómű-modernizáció aktuális kérdéseire is.

Magyarország a Gripen típusú repülőgépekhez – az irányított hőérzékelő rakéták elleni védelem céljából – 2006-ban szerzett be először zavarótölteteket. A 118 MK 3 Flare (infracsapda) és az RR170 Chaff (dipól) tölteteket (méretük 1"×1"×8") a brit Chemring Group-tól, illetve a KC-002 típusú infravörös zavarótölteteket (méretük: 2"×1"×8") az amerikai Kilgore Flares Company-tól szereztek be. A zavarótöltetek kilövésére a repülőgép-törzs hátsó részén elhelyezett BOY-403-as kivető szolgál, 3 db, egyenként 40 db 1"×1"×8" vagy 20 db 2"×1"×8" méretű zavarótöltetet tartalmazó (BOP/C típusú) kazettával.



19. ábra. A Gripen E változatú repülőgépre felépített, a Selex Galileo által fejlesztett Raven ES-05 lokátor prototípusa (Fotó: SAAB, Salex)

Az infra zavarótöltetek zavarási tartománya 3-5 μm hullámhossz, ami a 2"×1"×8" méretű töltetek esetén kiegészül a 8-12 μm tartománnyal. A dipól zavarótöltetek a 2-18 GHz frekvenciasávot fedik le.

2008-ban újabb beszerzésekre került sor, valamint dipól tölteteket rendeltek a BOL-539 típusú szóró berendezéshez. A rakétafüggesztő pilonok végén elhelyezett szóró berendezések egyenként 60 db zavarótöltet kilövésére alkalmasak.

* szakújságíró ORCID: 0000-0001-5563-3313



A beszerzést ismét a Chemring Group nyerte (a beszerzési árakat nem hozták nyilvánosságra).

A zavarótöltetek gyártó által szavatolt felhasználhatósági ideje repülőgéphez töltve 3 hónap, bontott csomagolásban 1, bontatlan csomagolásban 10 év. Az amerikai gyártású zavarótöltetek esetében a felhasználhatósági idő 9 év. (A magyar légierő által korábban beszerzett és tárolt töltetek napjainkra elfogytak, illetve szavatossági idejük lejárt. 2008 óta nem került nyilvánosságra információ újabb zavarótöltetek beszerzéséről, az eszközök azonban mindenképpen szükségesek a légvédelmi rakéták elleni védelemhez.)

A magyar Gripenek az elmúlt évtizedben a különféle hadgyakorlatokon, repülőnapokon és ünnepi rendezvényeken számos alkalommal mutatták meg önvédelmi eszközeiket, amelyekkel – kitérő manőverek közben – megtévesztik a feljükk közeledő infravörös önirányítású légi harc-rakétákat. A lokátorok és a rádiolokációs irányítású rakéták zavarására alkalmazott (dipól) zavarótölteteket (különböző hosszúságú, fémbevonatú műanyag vagy üvegszálak) kisebb mennyiségben alkalmazták, mert környezetkárosító hatásuk miatt békeidőben a szórásuk erősen korlátozott.

A JAS-39C/D MODERNIZÁLÁSA ÉS AZ E VÁLTOZAT

A SAAB a világszerte megrendezett repülési és űrkutatási szakkiallításokon (Trade Shows Worldwide – Aeronautics – Space) rendszeresen képviselteti magát. Ezek a rendezvényeken folyamatosan bemutatják a cég termékeit, és előadásokat tartanak az aktuális fejlesztésekről, innovációs törekvésekről. A SAAB-csoport a Gripen harcászati repülőgépeken túl, más repülő, szárazföldi, illetve tengeri és tenger alatti védelmi eszközöket, komplexumokat és berendezéseket is gyárt, a védelmi iparág egyik vezető cége.¹²

A SAAB jelenleg a JAS-39E/F Gripen NG (Next Generation) repülőgépre fókuszál. A vadászgép külsőleg hasonlít a Gripen korábbi változataira, valójában azonban egy teljesen új harcászati repülőgépről van szó, amelyet XXI. századi technológiával szereltek fel. A 2008-ban először levegőbe emelkedett JAS-39NG demonstrátor a 39.803 számú, átépített „B” változat volt, amelybe már a kísérleti AESA lokátoron kívül több, később az E/F verzióknál alkalmazott rendszerelemet is beépítettek. A kísérleti repüléseket a 39-1 prototípussal kezdték, majd a 39-8-as is csatlakozott a teszteléshez. 2019. december 3-án a 39-6002-es emelkedett a levegőbe, ezzel három prototípus és az átépített NG állt a tesztcsapat rendelkezésére.

A legújabb típus gyártását a svéd SAAB AB-n kívül a brazil Empresa Brasileira de Aeronáutica S.A. (Embraer) is tervezi, de a vállalat időközben beolvadt az amerikai Boeing cégcsoportba, és ez a tény komolyan befolyásolhatja a JAS-39 Gripen E/F-ek korszerűsítését. (A Boeing szoros együttműködésben áll a SAAB-bal is. Közös fejlesztésük az amerikai légierő új gyakorló repülőgépe, a T-X-7 Redtail, valamint a JAS-39E/F repülőgép, amelyek az F414-GE-400-as közös gázturbinákkal épülnek.) A tervek szerint a Volvo a hajtóműveket a General Electric Aviation licence alapján gyártja.

Az új repülőgéphez mechanikusan is mozgatható Selex ES-5 Raven AESA lokátort, fejlett passzív és aktív elektronikai harcrendszert, rakétaindításra figyelmeztető-érzékelő rendszert is integráltak, valamint 10 függesztési pontján számos fegyver hordozására is lehetőség nyílik. Az NG-re eddig 60 db-os megrendelés érkezett a svéd légierő (Flygvapnet) részéről, valamint Brazília 36 db repülőgépre jelezte vásárlási szándékát. A gépből eredetileg kétüléses típust nem terveztek, de a brazilok kívánságára kifejlesztés



20. ábra. Az első brazil Gripen E változatú harci repülőgép tesztrepülés közben (Fotó: SAAB – Linus Svensson)

alatt áll az „F” változat, amely az EF-18G Growlerhez hasonlóan a gyakorló, vadászbombázó és felderítő feladatkörön túl, elektronikai lefoglaló, illetve elektronikai harci repülőgép lesz. (A fejlesztés nyomán az E/F-re tervezett rendszerek egy részét a jelenlegi – a magyar légierőben is szolgáló – JAS-39C/D-khez is integrálható módon alakítják ki.)

A SAAB a C/D változatok további exportját is reméli, hiszen üzleti tervében a következő húsz évben 350-400 db harcászati repülőgép eladását tűzte ki célul, amely a teljes piac mintegy 15%-a.¹³ Ahhoz, hogy a SAAB megőrizze piaci pozícióját, a jelenlegi Gripen C/D-khez képest meg-növelt képességekkel rendelkező vadászgépet kell kínálnia a potenciális üzemeltetőknek. Maga a repülőgép üzemeltetése, az egy repült órára jutó fajlagos költsége, a hasonló generációjú repülőgépek között, a világon az egyik legolcsóbb. A legköltséghatékonyabb üzemeltetés akkor érhető el, ha az üzemeltető, már a lízing vagy a beszerzés elindításakor tudja, hogy milyen változatú Gripen, milyen képességekkel kíván hadrendbe állítani. Ugyancsak lényeges szempont, hogy a hajózó és a műszaki állományt magas fokon kiképezzék, és képzettségüket folyamatosan szinten tartsák. Fontos továbbá, hogy a szükséges terméktámogatást, a javításhoz szükséges anyagokat és pótalkatrészeket megfelelő ütemezéssel szerezzék be.

- az F-16 Falcon (a dán, a norvég és a belga légierő gyakorlata szerint) mintegy 35 000 SEK/óra,
- az F-18 Hornet (a finn légierő gyakorlata szerint) mintegy 60 000 SEK/óra
- a JAS-39 Gripen (a gyári kézikönyv szerint) körülbelül 20 000 SEK/óra.

Az alacsony üzemeltetési költség azonban önmagában kevés. A SAAB ezért a tervek szerint fegyverintegrációval, új lokátorral és EW-eszközökkel egészíti ki a JAS-39C+ és D+ ként is emlegetett modernizált repülőgépeket.

FEGYVERINTEGRÁCIÓK

A SAAB egy magyarországi konferencián már 2015-ben bemutatta a manapság integrált fegyverzetet és függesztményeket. Ugyanakkor korábban több olyan félíg kész integrációt is terveztek, ami napjainkig még nem valósult meg, mint például a Taurus (Kepd-350) közel 500 km hatótávolságú robotrepülőgépeké (amelyhez hasonló a Storm Shadow robotrepülőgép, amelyet az Eurofighter és a Tornadok fegyverzetébe integráltak). A Taurus integrációja hosszabb ideig csak súlymakkal végzett repülésekből állt, de a közelmúltban folytatták a kísérleteket, mert a svéd légierő ezzel az eszközzel tervezi a Stand-off földi célok elleni csapásmérő képesség növelését.

Néhány éve elérhető a JAS-39C/D változatokhoz az SDB (Small Diameter Bomb), amely egy 110 kg-os robba-



21. ábra. A brazil és a svéd légierő vadászgépeinek kötelékreplése (Forrás: SAAB)

nőfejjel rendelkező, kis járulékos veszteséggel alkalmazható irányított siklóbomba. Az Egyesült Államok GBU-39 jelzéssel állította hadrendbe. Mérete és tömege miatt 1 db pilonra (BRU-61/A) 4 db ilyen típusú bombát lehet erősíteni. A jelenlegi nyilvános információk alapján a korszerűsített Gripenekbe az SDB I. változatot integrálták. A II. változat (GBU-53/B) már infra-, lézer- és lokátorvezérlésű változat, amely kiegészíti az I. változat inerciális (INS), illetve GPS (globális helyzetmeghatározó rendszer) alapú vezérlését. A bombatípushoz kifejlesztett speciális szárnyrendszer (DiamondBack) a függesztés során összecukott állapotban van. A fegyver hatótávolsága elérheti a 110 km-t.

Két levegő-föld/vízfelszín típusú harcászati-hadműveleti fegyver integrációja is elkészült. A tengerparttal rendelkező országok az RBS15F ER megnövelt hatótávolságú, hadihajó elleni rakétát is hordozhatják a Gripen C/D belső pi-

lonjain. A német Diehl és svéd Bofors fejlesztésű fegyvert hadihajókon és partvédelmi komplexumokon már 1985-től szolgálatba állították, de új változatát 250 km+ hatótávolsággal 1990-től lehet repülőgépről is harcba vetni.

AZ ELEKTRONIKAI HARCOT IRÁNYÍTÓ RENDSZEREK. ÉS ELLENTEVÉKENYSÉG-RENDSZEREK

A Gripen C/D változatait kiváló integrált elektronikai harc-rendszerrel szerelték fel. A NATO balti légtérrendészeti missziói (Baltic Air Policing) keretében pl. a magyar Gripenek voltak a legjobb EW (Electronic Warfare) és ECM (Electronic Countermeasures) felszereléssel rendelkező légierőrendészeti repülőgépek. (Képességeiknek köszönhetően, a misszió első elfogása egy IL-20-as elektronikai felderítő repülőgép volt.) A SAAB bejelentése nyomán, 2025 után a Gripen C/D változatok az NG jelenleg is fejlesztés alatt álló legmodernebb, EW és ECM rendszereit is megkaphatják. A Selex ES Brite Cloud aktív infracsapda és dipóliszóró berendezése mellett BOP-L típusú infracsapda és dipóliszóró, valamint 360°-os, teljes vertikumban működő, rakétaveszélyre figyelmeztető rendszer (MAWS – Missile Approach Warning System) is beépíthető lesz a C/D változatokba.

A repülőgépbe szerelhető rendszerek mellett elérhető lesz, a jelenleg már prototípusban megvalósult ESTL (European Space Tribology Laboratory) önvédelmi konténere, amely ugyan elfoglal egy pilont, azonban tartalmazza az EW elektronikai harcászati modult, a radar-besugárzás jelzőt, valamint további infracsapdákat és dipóliszórókat. A konténernél problémákat jelenthet a pod (konténer) rezgése, a korlátozott 3D felderítés és a JAS-39 típusú repülőgépekre épített, aránylag kevés függesztőpont. Ugyanakkor komoly légvédelmi fenyegetettség esetén az ESTL jelentősen megnövelheti a gép és személyzetének túlélőképességét.

A SAAB 2019 júliusban lépett a nyilvánosság elé az új, Arexis nevű elektronikai harcrendszerével. A rendszer fő

22. ábra. GBU-53/B „Stormbreaker” SDB II (Small Diameter Bomb) mozgó célpontok ellen is hatásos fegyver (Forrás: ausairpower.net)



eleme az EAJP (Electronic Attack Jammer Pod), amely egy 4 m hosszú és 350 kg tömegű zavarókonténer. A fejlesztést a stockholmi üzemegységben végezték, és a konténer – az ESTL-hez hasonlóan –, 1 db függesztőhelyet foglal el. Az alacsony frekvenciás antennákat a konténeren található vezérsíkokra helyezték el. Ez a fejlesztés lehetővé teszi, hogy a JAS-39C/D Gripen – az elektronikai konténerekkel és a szintén integráció alatt lévő AARGM (a HARM-88 modernizált változata) lokátor-elhárító rakétákkal felszerelve –, kötetlenül belül elektronikai harc-, illetve zavaró feladatokra is alkalmazhatóvá váljék. A koncepció hasonlít a Boeing által kifejlesztett EA-18G Growler konfigurációra, amely a F/A-18F elektronikai harcra optimalizált modifikációja.

A JAS-39C/D fejlesztéséhez kialakítanak egy másik, ún. „Plaguy fly” (bosszantó légy) elnevezésű konténert is, amely „jammer” vagyis zavaróberendezéssel hamis célokat képes generálni az ellenséges légvédelmi eszközök megtévesztése érdekében.

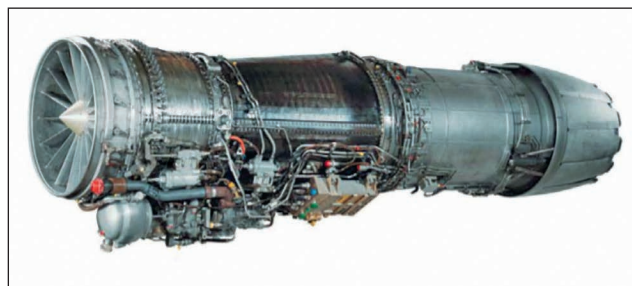
Az E/F Gripenek képességnövelése érdekében, az Arexis rendszer elemei már a tervezéskor helyet kaptak. A svéd gyártó szerint a repülőgépek szárnycsúcsaiban (a törővégeken) elhelyezett ún. kvadráns vevő- és adóberendezések kiemelkedő képességeket biztosítanak.¹⁴ Az Arexist alapvetően a Gripenekhez fejlesztették, de integrálható az Airbus Eurofighter vadászbombázóihoz is. A német légierő is érdekli az új zavarórendszer iránt.

A Dassault Rafale és az Eurofighter harcászati repülőgépekhez fejlesztett Saturn elnevezésű, hangfelismerésen alapuló vezérlőrendszer a későbbiekben a magyar Gripenek számára is elérhetővé válik. Az eszköz beépítése után bizonyos parancsokat a pilóta beszéd útján is kiadhat a repülőgép számítógépes rendszerének.

HAJTÓMŰ-MODERNIZÁCIÓ

A JAS-39C/D típusú repülőgépek hajtóművének, a Volvo Aero RM-12 gázturbinás sugárhajtómű 54 kN-ról 80,5 kN-ra történő tolóerő-növelés lehetőségét a Volvo már 2011-ben a svédországi ISABE kiállításon bemutatta. A General Electric az eredeti F404 hajtómű Enhanced Performance Engine (EPE) változatát a kisnyomású kompresszor új, illetve módosított első fokozatát „blik” gyártási technológiával készített alkatrészekkel nagyobb levegőárammal képes ellátni, így a hajtómű teljesítménye 2–15% között növelhető. (Bár ezt a technológiát az F/A-18 típusú repülőgépeket üzemeltető országok nem kérték, de a Volvo új, ellenállóbb anyagból készülő, még fejlettebb léghűtésű turbinafokozatokkal képes lenne gyártani.) A JAS-39 Gripen C/D üzemeltetők sem igényelték a modernizált turbinák gyártását. A nagyobb teljesítményű turbinák asználata esetén kérdéses többek között, hogy a JAS-39C/D repülőgépek légbeömlő nyílásai képesek lennének-e a többlet levegőigényt

23. ábra. Az amerikai T-X-7 Redtail, valamint a JAS-39E/F vadászgép egyaránt F414-GE-400-as gázturbinával épül



(Fotók a szerző gyűjteményéből)

biztosítani, vagy az új gázturbinák nagyobb tolóerejét csak a megnövelt légbeömlő nyílásokkal lehetne kihasználni. A fejlesztést a General Electricől sem rendelte meg egyetlen felhasználó sem.

A JAS-39E/F típusú repülőgépek a Super Hornetnél is alkalmazott GE F414 gázturбина licencváltozataival repülnek majd. Az EPE változat alkalmazásával, itt is lehetőség nyílik a hajtómű teljesítményének az említett technológiával történő növelésére. Az új Gripenek F414-GE-39E gázturbináinak részletes paramétereit még nem hozták nyilvánosságra, az azonban biztos, hogy a 120 kN-os EPE változattal szemben mindössze 98 kN tolóerővel rendelkezik majd. A Gripen JAS-39C/D MS20 szoftverváltozatot, valamint az új PS-05/Mk4 lokátorokat hazánk harci repülőgépeibe is integrálták a nagyjavítások után. Az új fegyverzet, a feldehárító és önvédelmi eszközök minden Gripenet alkalmazó haderő számára elérhetővé váltak.

FORRÁSOK

- Amaczi Viktor. „Litening és Lite konténerek” *Haditechnika* 31, 4. sz. (1997): pp. 27–28.;
- AIM-120C-7 AMRAAM rakétabeszerezés. USA Védelmi Biztonsági Együttműködési Ügynöksége („148 milliárdért venne rakétákat Amerikától Magyarország” [portfolio.hu](https://www.portfolio.hu/uzlet/20190828/148-milliardert-venne-raketakat-amerikától-magyarország-2-335531) 2019. augusztus 29. elérés. Letöltés: 2020. 05. 26. <https://www.portfolio.hu/uzlet/20190828/148-milliardert-venne-raketakat-amerikától-magyarország-2-335531>);
- Gripen harci repülőgép. *IHS Jane's Defence Weekly* 53, 27. szám (2016. július 6.);
- Hegedűs Ernő. „A JAS-39 Gripen többfeladatú harci repülőgép – Fejlesztés a kezdetektől napjainkig I-II. rész” *Haditechnika* 47, 4–5. sz. (2013);
- Jackson, Paul (szerk.) *Jane's All the World's Aircraft 2009–2010*. Couldson: UK, 2009.;
- Tóth András. „A JAS 39 Gripen EBS HU többfeladatú vadászrepülőgép I-II. rész” *Haditechnika* 38, 2. és 3. sz. (2004);
- Peták György-Szabó József. *A Gripen*. Budapest: Petit Real Könyvkiadó, 2003. 122. p.;
- Lőrinczy Szabolcs. *A magyar légierő fejlesztése a légi utántöltő képesség megvalósításával*. Egyetemi doktori értekezés, ZMNE, 2009. 84–86. o.

JEGYZETEK

- 12 Főbb termékeik az Erieye radar system is an Airborne Early Warning and Control System (AEW&C) Bombardier business jetre telepített repülőlokátor-állomások, a földi és tengeri telepítésű Giraffe lokátorcsalád, amely a 3D légtérrelőrző radaroktól a kis tűzérési lokátorokig terjed, valamint a gyalogos katonák által használható Carl-Gustaf hátrasiklás nélküli páncéltörő löveg, amely repeszromboló, termobárikus, de akár vegyi fejfel is ellátható. Utóbbit a Magyar Honvédség is rendszeresítette.
- 13 Várakozásukat lerontotta, hogy a svájci tenderről a már nyertes JAS-39E repülőgépet kizárták, azzal az indokkal, hogy csak az a gyártó pályázhat, amely már rendelkezik sorozatban gyártott és hadrendben álló repülőgéppel. A szlovákok és bolgárok a Lockheed Martin F-16V vadászbombázóját választották ki a következő harci repülőgép típusuknak és Horvátország sem tekint prioritásnak a svéd vadászgépeket, annak ellenére sem, hogy az előző tendergyőztes használt, de modernizált és nagyjavított, izraeli F-16A/B-k exportját az Amerikai Egyesült Államok letiltotta.
- 14 Hasonló megoldásúak az orosz Szuhoj harcászati repülőgépek szárnyvégein hordozott Szborcija, és az annál modernebb Hibini-M elektronikai harc-rendszerek.

Horváth Attila*

HTS és követő antennarendszerek alkalmazhatósága a katonai vezetést támogató műholdas távközlési rendszerekben

Az Új Nemzeti Kiválóság Program keretében végzett kutatásban¹ vizsgált potenciális távközlési műholdpályák közös jellemzője, hogy a műholdak a földi megfigyelőhöz (a távközlési földi állomásokhoz) képest relatív elmozdulással bírnak. Ez jelentős eltérés a jelenleg legelterjedtebben alkalmazott geostacionárius pályára helyezett műholdakhoz képest, amelyek relatív elmozdulása az alkalmazás szempontjából elhanyagolható (a műhold nem mozdul el a földi állomás antennájának iránykarakteristikájából). Legyen szó akár az Egyenlítőhöz képest adott hajlásszöggel beállított geoszinkron pályán mozgó műholdakról², akár szuperszinkron konstellációkról³, a földi állomásnak követnie kell a műholdat. Ez befolyásolja az antennarendszer kialakítását. A követő antennarendszerek azonban igen jól illeszkednek a korszerű műholdas távközlési rendszerekbe, ahol a földi állomások egyre inkább nem fix telepítésűek, hanem maguk is mozognak.

Egyidejűleg a műholdak fedélzetén is érdemes a hagyományostól eltérő antennarendszereket alkalmazni. A megszokotthoz képest jelentősen nagyobb átviteli kapacitással rendelkező High-Throughput Satellite – HTS (nagy átbocsátóképességű műhold) rendszerekben megtalálható antennarendszerek kifejlesztésének célja az üzleti távközlési szolgáltatásokat nyújtó rendszerekben az volt, hogy adott rádiós sáv szélességben a lehető legtöbb felhasználó részére legyenek képesek szolgáltatást nyújtani. Miközben ez természetesen a védelmi célú távközlési rendszerekben is előny, a HTS forgalom szervezésben alkalmazott antennák egyéb jellemzői miatt érdemes igazán azokat az ilyen rendszerekben alkalmazni.

A FÖLDI ÁLLOMÁSOK KÖVETŐ ANTENNARENDSZEREI

A jelenlegi műholdas távközlési rendszerekben még geostacionárius pályamagasságban keringő műholdak esetén is alkalmaznak nem irányított antennákat a földi állomáso-



1. ábra. A Magyar Honvédség legkorszerűbb műholdas rádiórendszerei. A helikopter faroktartójának jobb oldalán a vezérsík előtt látható az UHF TACSAT rendszer antennája, a jobb oldali oldalajtó felett pedig az L-TAC/SlingShot rendszer antennája. A betétképen a különleges műveleti katoná felszerelésére rögzítve látható az L-TAC/SlingShot antenna (Forrás: honvedelem.hu és különlegesdandár.hu)

kon akkor, ha a lehető legegyszerűbb kialakításra, legkisebb méretre kell törekedni. Jó példa erre a Magyar Honvédségben is használt Inmarsat L-TAC szolgáltatáshoz tartozó Spectra Slingshot antennája. Itt a kompakt kialakítás, a maximális környezetállóság és a legnagyobb működésbiztonságra való törekvés volt az optimalizáció fő szempontja. Ez rádiótechnikai szempontból azonban azt eredményezi, hogy az antenna nyeresége alacsony az első közelítésben gömbsugárzóknak tekinthető kialakítás miatt. A műholdon lévő nagy nyereségű antenna lehetővé teszi az összeköttetés létrehozását ilyen termínálokkal is, azonban az elérhető átviteli kapacitás igen korlátozott.

A megoldást az irányított antenna alkalmazása jelenti, mint azt a VSAT rendszerekben, illetve a nagy átviteli kapa-

ÖSSZEFOGLALÁS: Az üzleti célú műholdas távközlési rendszerekben az utóbbi években több olyan műszaki megoldás jelent meg, amelyek a védelmi és biztonsági célú – ezen belül a katonai vezetést támogató – műholdas távközlési rendszerekben is komoly hozzáadott értékkel rendelkeznek. Lehetővé teszik a mozgás közbeni folyamatos, nagy sebességű adatátvitelt, növelik a természetes és emberi eredetű rádiózavarokkal (ideértve a szándékos ártó zavarást is) szembeni védelemet és biztosítják a megszokottól eltérő műholdpályák alkalmazásának lehetőségét. A tanulmány az Új Nemzeti Kiválóság Program támogatásával készült.

KULCSSZAVAK: HTS, követő antennarendszer, cellás rádiórendszer

ABSTRACT: Several technical solution appeared in the last few years in business SATCOM systems, which can give significant value to SATCOM supporting defence and security operations and military command and control systems. These solutions enable high speed on-the-move communication, increase the protection against natural and man-made radio interference (including deliberate jamming), and make possible the use of nonconventional orbits. This article was written with the support of the ÚNKP New National Excellence Program.

KEY WORDS: HTS, tracking antenna system, cellular radio system

* Alezredes, kiemelt főtitest MH Modernizációs Intézet. ORCID: 0000-0001-9768-5357



2. ábra. Az izraeli AH-64D Saraf harci helikoptert fejlett szenzorokkal szerelték fel, amelyek közül a legszembetűnőbb az AN/APG-78 (Longbow) milliméteres hullámhosszú tűzvezérlő radar célgyűjtő rendszere, valamint a radarfrekvencia interferométer. Mindkét eszköz a fő rotor feletti kupolában helyezkedik el (Forrás: jetphotos.net – ErezS)

citású forgalomdíjas műholdas adatátviteli szolgáltatási rendszerekben (mint az Inmarsat BGAN vagy GlobalXpress) láthatjuk. Ekkor a földi állomás antennája is nagy nyereségű, vagyis sokkal jobb rádiótechnikai jellemzőkkel rendelkező rendszerrel lehet dolgozni. Az elérhető adatátviteli sebességek emiatt nagyobbak az ilyen rendszerek esetében. A korszerű katonai vezetéstámogató infokommunikációs rendszerekben a kis sebességű szolgáltatásoknak is van helyük, de a nagy átviteli sebesség igénye egyre nő. A telepíthető és mobil (páncélozott harcjárművön, helikopteren vagy merevszárnyú repülőeszközön kialakított) vezetési pontok, a „digitális harcjárművek” (számítógéppel támogatott vezetési rendszerrel és számos szenzorral felszerelt modern harcjárművek, mint például a Rheinmetall Lynx, a Puma vagy a Redback) és a személyzet nélküli járművek (légi, földfelszíni vagy vízi eszközök) számára létfontosságú a nagy adatátviteli sebesség, elsődlegesen a valós idejű szenzoradat-továbbítás érdekében.

Az irányított antenna még egy szempontból kiemelten fontos egy katonai távközlési rendszerben: az ellenséges elektronikai műveletek elleni viszonylagos védettség szempontjából. Mivel a kisugárzott energia (illetve szigorúan véve annak legnagyobb része) célzottan az ellenállomás irányába indul, a rádiófelderítők kisebb eséllyel képesek azt elfogni, bemérni. És mivel a reciprocitás elve alapján a vételi irányban is érvényesül az irányítottság, a rádiózavarás jelei is csak igen erősen csillapítva jutnak be a vevőbe. A korszerű elektronikai műveleti rendszerek képességeit figyelembe véve, és együtt vizsgálva ezt a digitalizált műveletvezetés elterjedésével, jól láthatjuk, hogy a vezetési rendszer kommunikációs komponensének védelme létfontosságú.

A követelmények szerencsés együttállását láthatjuk. A földi állomás hordozóplatformja egy mozgó jármű, vagy telepíthető vezetési pont esetében egy álló platform ugyan, de a szinte azonnali műholdra állás ekkor is követelmény. Ez eredendően szükségessé teszi a műhold követését még geostacionárius pályán keringő űreszköz esetében is, hiszen a platform maga mozog, legtöbbször még üzem közben is. Emellett a műhold relatív elmozdulásából eredő követési igény egyszerűen kielégíthető, mind a megkívánt mozgáspályája, mind annak sebessége tekintetében (a hordozóplatform nagy szögsebességgel és előre nem jelezhető módon mozdul, míg a műhold elmozdulása ehhez



3. ábra. Izraeli AH-64A Peten harci helikopter. A félszárnyak felső részén láthatók a műholdas távközlési rendszer antennái, amelyek intenzív manőverezés közben is képesek követni a használt műholdat. A tényleges antennarendszer az áramvonalazó burkolat alatt található. (Forrás: Times of Israel)

képeket lassú és jól számítható). Nem okoz hátrányt a nem-geostacionárius űreszköz megjelenése a távközlési rendszerben.

Az antenna (pontosabban az iránykarakterisztika) mozgására több lehetőség is létezik. Rendszerben, alkalmazásban vannak még tisztán elektromechanikus mozgató antennák, de ezek ma már nem tekinthetők korszerűnek. Méretük és tömegük nagy, meghibásodási valószínűségük a sok mozgó alkatrész miatt szintén nagy. A parabolareflektor helyett réssugárzókat vagy patchsugárzókat alkalmazó megoldások fizikai mérete némileg kisebb (rosszabb antennanyereség mellett), de napjainkban ezek sem javasolhatók beszerzésre.

A manapság korszerűnek tekinthető, irányított kisugárzású követő antennák nem tartalmaznak mozgó alkatrészt a pozicionáló rendszerben. A fázisvezérelt antennarács általánosan elterjedt kialakításában a hullámhosszra méretezett elemi sugárzók sokaságából áll, amely elemi sugárzók megválasztó jelei egymáshoz képest fázisban el vannak tolvak. Az eltolt fázisban kisugárzott elemi hullámfrontok sokasága a távlatban csak egy irányban összegződik fázishelyesen, ez lesz az antennarács főnyalábja. A fázistolás megfelelő beállítása és folyamatos hangolása teszi lehetővé a főnyaláb folyamatos célon tartását. A fázistolás végrehajtható passzív fázistolók alkalmazásával (ez az alacsonyabb technológiai színvonalat igénylő megoldás), amikor az üzemi frekvenciára felkevert és erősített rádiójelet szétosztják a fázistoló hálózaton keresztül a sugárzókra. Ekkor egy erősítőnk van, az iránykarakterisztika-vezérlő a fázistolókra hat. Aktív fázisvezérelt antennarács esetén minden egyes elemi sugárzóhoz egy saját erősítő tartozik, és az iránykarakterisztika-vezérlő ezekre az erősítőkre hat. Minden elemi sugárzó közvetlenül csatlakozik a saját erősítőjéhez. Vételi irányban a működés elve azonos.

A fázisvezérelt antennarácsokat elterjedten alkalmazzák a radartechnológiában. Ezen alkalmazásban kifejezett előnyük, hogy mivel az iránykarakterisztika eltérítése nem igényel fizikai mozgatót, az antennarács fixen rögzíthető a hordozó struktúrára (köztes megoldásnak tekinthető a hazánkban is rendszeresített RAT-31DL, amely elevációban fázisvezérelt, azimutban pedig mechanikusan forgatott antennát használ). Ez nagyban csökkenti az antenna helyigényét és egyszerűsíti a mechanikai kialakítást, csökkentve ezzel a meghibásodás lehetőségét. Tovább növeli az üzembiztonságot, hogy (aktív

rendszer esetén) a számos elemi erősítő meghibásodása egymástól függetlenül következik be, és egyes elemi erősítők kiesése ugyan rontja valamelyest az egész antennarács rádiótechnikai jellemzőit, de a rendszer egésze mégis működőképes marad („graceful degradation” – fokozatos leépülés). Ugyanezen előnyök a kommunikációs rendszerekben is érvényesülnek.

Amennyiben az antennarács elegendő számú elemből áll, és a vezérlés is képes a szükséges számítási kapacitás biztosítására, a fázisvezérelt antennarendszerek képesek több sugárnyalábot is képezni egyszerre. Az egyes nyalábok rádiótechnikai jellemzői az oda csoportosított elemi sugárzók és erősítők számától függenek. A radarok esetében ezt a „Track While Scan” üzemmód megvalósítására alkalmazzák, amikor a radar egyszerre végzi a kiválasztott cél(ok) követését (track) és a teljes légtér felderítő célú pásztázását (scan). Még egy lépéssel tovább haladva, amennyiben az egyes nyalábokba kiosztott elemi erősítőket eltérő középfrekvenciás és alapsávi rendszerbeli jellel hajtjuk meg, nemcsak az irányuk, hanem kompletten az alkalmazásuk is különböző lehet. Erre jó példát látunk az F-22-es vadászepülőgép radarrendszerében, ahol a radar képes adatátviteli célra sugárnyalábot kiküldönni, amelyet a vele kötelekben haladó repülőgépre irányít. Az irányított kisugárzás miatt a felderítés valószínűsége igen csekély (erről kapta a nevét is: LPI – Low Probability of Intercept, magyarul: a felderítés alacsony valószínűsége). Kommunikációs rendszerben ez a képesség jól használható arra, hogy egy állomás több ellenállomással egyidejűleg tartson fenn kapcsolatot. Műholdas távközlési rendszerekben például több műhold egy antennával történő egyidejű követése történhet meg (amikor valójában már nem egy, hanem több antennáról beszélünk, amelyeket fizikailag ugyan egybe csomagoltak, de rádiótechnikailag több rendszert képeznek).

A fentebb hivatkozott szuperszinkron műholdas távközlési rendszerekben a műholdak folyamatosan felemelkednek a horizont fölé, illetve lenyugszanak. Egy terepakadályok nélküli ideális esetben, ahol a horizontra való kilátás folyamatosan biztosított, a műholdak igen alacsony elevációig követhetők, majd az elevációs maszk alá történő lenyugváshoz közeledve végrehajtható az átállás a következő műholdra. A valóságban azonban (különösen egy mozgó platform esetében, ami beépített területen vagy erdő, hegyes terepen mozog, illetve nagymértékű bolytolt vagy orsózó kitéréseket hajt végre), akkor is szükség lehet műholdváltásra, amikor az éppen használt műhold még viszonylag távol van a horizonttól. Egyrészt bármikor akadály kerülhet a kisugárzás útjába, másrészt előfordulhat, hogy a platform mozgása miatt az iránykarakterisztikát olyan mélyre kellene fordítani, amire az antennarendszer, a kialakítása miatt már nem képes. Ezekben az esetekben hasznos, ha az antennarendszer a műholdak pályadatait ismerve folyamatosan számítja azok relatív irányát, és amennyiben egynél több műhold tartózkodik a terepakadályok nélkül elképzelt horizont fölött, akkor mindegyik irányába képez nyalábokat. Ezek közül az egyikbe allokálható a legnagyobb átviteli kapacitás, ez az üzemi nyaláb. A többi nyaláb célja kizárólag az, hogy mérve a rádiócsatorna terjedési jellemzőit, folyamatosan adatot szolgáltatson a vezérlésnek a műholdak valós láthatóságáról. Amennyiben a mérések alapján célszerű műholdat váltani, vagy az üzemi nyaláb fenntarthatatlanná válik akadályozás miatt, az antennarendszer azonnal átkonfigurálható az aktuálisan legjobb műholdra.

A fázisvezérelt antennarácsok hátránya azonban, hogy minden egyes elemi sugárzónak a hullámhosszra méretezettnek kell lennie az optimális teljesítmény érdekében.

Alacsonyabb frekvenciákon ez a rács méretének jelentős növekedését eredményezi. Az elemi sugárzók méretének csökkentése rontja a rádiótechnikai jellemzőket. Emellett, az aktív fázisvezérelt rendszerek igen drágák.

A hullámhosszhoz képest kis méretű antennák hátránya it küszöbölik ki a metaanyagokat tartalmazó antennarendszerek. A metaanyagok által megváltoztatott elektromágneses jellemzők teszik lehetővé, hogy a kis méretű antennaelemek sokkal hatékonyabban működjenek, mint ahogyan azt a fizikai méretük lehetővé tenné. A metaanyagok arra is használhatók, hogy hatékonyabbá tegyék a korábban leírt fázisvezérelt antennarácsok működését (csökkentik az oldalszirmokat és a veszteségeket). Jó példát találhatunk erre Carsten Metz US 6,958,729 B1 számú szabadalmában. A metaanyagok azonban más módon is használhatók az antennák kivitelezésében. Ezek egy része már kereskedelmi forgalomban elérhető (például a Kymeta termékei), mások a fejlesztés, illetve a kutatás fázisában járnak.

Figyelemmel arra, hogy akár döntött pályasíkjú geoszinkron műhold, akár szuperszinkron műholdas konstelláció kerül alkalmazásra, az alkalmazott földi állomás antennarendszere nem különbözik (hiszen a műveleti alkalmazhatóság okán nem különbözhet) a jelenleg geostacionárius műholdas rendszerekben alkalmazott követő antennától. A földi állomás antennarendszerek ennél részletesebb tárgyalása nem szükséges.

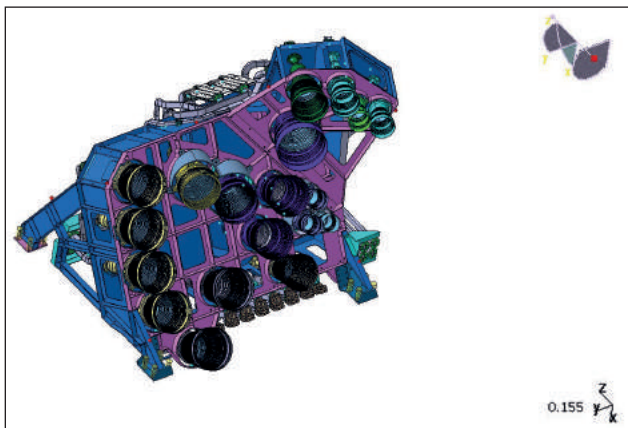
A MŰHOLD ANTENNARENSZERÉNEK KIALAKÍTÁSA

A geostacionárius pályán keringő műholdak antennája a legegyszerűbb esetben egy hozzávetőlegesen 19°-os nyílásszögű sugárnyalábot kibocsátó tölcésűsugárzó, amely besugározza a teljes látható földfelszínt. Spektrumgazdálkodási és teljesítmény-optimalizációs okok miatt a legtöbb távközlési műhold azonban nem sugározza be a teljes látható földfelszínt, csak annak egy részét. Ehhez klasszikusan a kívánt lefedettségi területformának megfelelő elrendezésű sugárzóhálózatot alakítanak ki, amelynek képét (kisugárzási karakterisztikáját) parabolarefektor vetíti le a felszínre. A sugárzóhálózatot vagy egy erősítő hajtja meg – vagyis az összes elemi sugárzó egy rádiófrekvenciás rendszer része –, vagy pedig külön-külön erősítőhöz és RF rendszerhez kapcsolódnak. Ekkor a kivetített lefedettségi terület szegmentálható.

A szilárdtest-teljesítményelektronika fejlődése azonban ebben az esetben is lehetővé tette, hogy az elemi sugárzókhöz elemi erősítőket csatlakoztassanak, vagyis minden sugárzó a kívánt tartózkodó erősítőn keresztül) önálló rádiófrekvenciás rendszer antennájaként szerepeljen. Az erősítők és a mögöttük található rendszerek aktív kapcsolásával pedig elérhető, hogy az elemi sugárzók igény szerint összekapcsolhatók legyenek. Mivel minden elemi sugárzó képe kivetítődik a földfelszínre, így összességében nem egy lefedettségi területet kapunk a teljes antennarendszerre értelmezve, hanem minden elemi sugárzó egy saját, jelentősen kisebb méretű lefedettségi területet képez. Az angol szakirodalomban használt spotbeam kifejezés tükörfordításaként, ezeket pontnyaláboknak nevezzük.

Mivel minden pontnyalábot külön erősítő táplál, ami mögött külön jelfeldolgozó rendszer található, a szomszédos pontnyalábok eltérő frekvencián üzemelhetnek. A térben egymástól távol eső pontnyalábok használhatják ugyanazt a frekvenciatarományt egymás zavarása nélkül. Ezzel a módszerrel gyakorlatilag egy cellás rádiórendszert alakítanak ki a műholdon, azonban a cellákat nem a bennük talál-





4. ábra. Az ESA ARTES programjában az Astrium/Airbus által fejlesztett LMFA sugárzórendszer (Forrás: ESA)

ható bázisállomások képezik, hanem a műhold antenna-rendszerének elemei sugárzói (és a cellaelrendezést esetenként még egy reflektor vetíti le a felszínre).

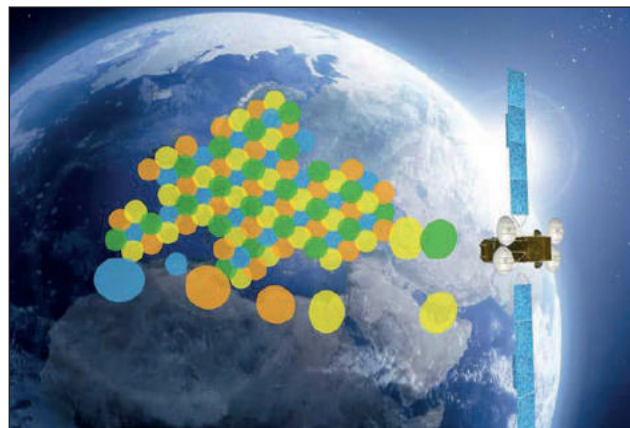
A cellás rádiórendszerek leginkább ismert előnye a frekvenciák újrahasznosíthatósága. Mivel a rádiófrekvenciás spektrum véges erőforrás, optimális kihasználása minden rendszertervező alapvető feladata. A földi cellás rendszerekben az egyik cellában használt spektrumtartomány kiosztható egy másik, távolabb lévő cellában újból, amennyiben a rádiós terjedési viszonyok (légtörési csillapítás, domborzat) megfelelő elválasztást biztosít. A műholdról képzett cellák esetében az újra kiosztathóság az antenna térbeli szűrőként történő működéséből adódik: a pontnyaláb lefedettségi területén kívülről érkező rádiójelek be sem jutnak a vevőbe, mert a reflektor nem vetíti az elemi sugárzóra azokat.

A frekvencia-újrahasznosítás magyarázataként képzeljünk el egy rádiórendszert, ami a teljes megkívánt szolgáltatási területet egyben fedi le (nincs cellákra vagy pontnyalábokra osztva). Az egyszerűség kedvéért most csak egyirányú szimplex kommunikációt vizsgálunk, de kétirányú kommunikáció esetén is azonos az elv. A rendszerben használjunk 400 MHz rádiós sáv szélességet, 4 darab, egyenként 100 MHz sáv szélességű csatornára bontva (például 1000–1099, 1100–1199, 1200–1299, 1300–1399 MHz). Mivel fizikailag nincs felszabadulva a szolgáltatási terület, bárhol is helyezkedjenek el a felhasználói állomások, amennyiben egy csatornát egy felhasználó foglal, az a teljes szolgáltatási területen foglaltnak tekintendő, így a rendszerben a felhasználók számára elérhető sáv szélesség megegyezik a rádiós sáv szélességgel.

Osszuk fel most a szolgáltatási területet 3x3 cellára (A, B, C; 1, 2, 3). Kössük ki, hogy a szomszédos cellában nem lehet újra használni a csatornát, egy elválasztó cellának lennie kell az azonos csatornát használó cellák között. Ebben az esetben a vivőkiosztathósága így alakul:

- 1000–1099: A1, A3, C1, C3 (400 MHz);
- 1100–1199: A2, C2 (200 MHz);
- 1200–1299: B1, B3 (200 MHz);
- 1300–1399: B2 (100 MHz).

Láthatjuk, hogy a 400 MHz rádiós sáv szélességben 900 MHz-nyi átviteli kapacitás áll a felhasználók rendelkezésére abban az esetben, ha a forgalom nem lépi át a cellahatárt. Határátlépés esetén a cellákat, pontnyalábokat össze kell kapcsolni (ennek felismerése a forgalomkezelő rendszer feladata), és ekkor a sáv szélességigény megnő, hiszen mindkét cellában foglal kapacitást a forgalmazás. Amennyiben például az A2-t a C2-vel kell összekötni, akkor az oda tervezett 100 MHz kapacitást csak egyszer lehet



5. ábra. HTS rendszer cellakiosztása a gyakorlatban (Forrás: EUTELSAT)

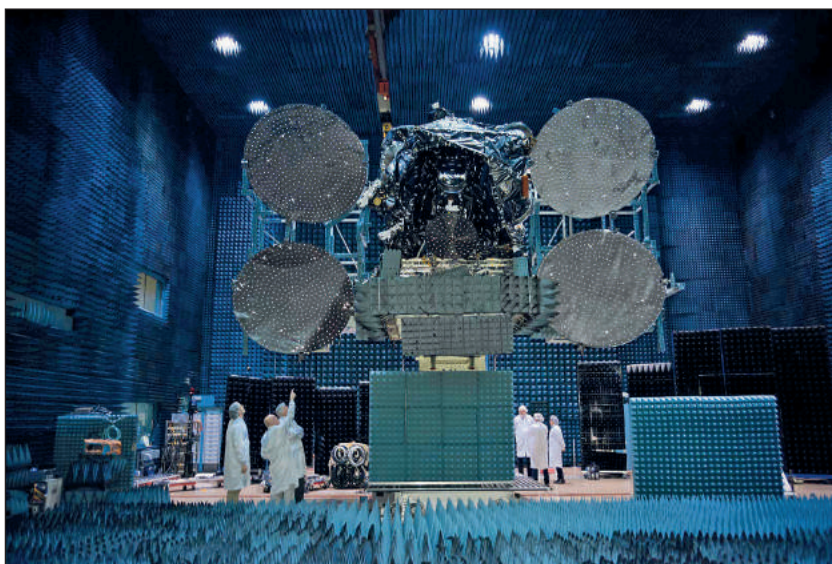
kiosztani, nem pedig kétszer. Természetesen a valós cellás rendszerekben sokkal nagyobb cellaszámmal és bonyolultabb vivőkiosztással kell számolni, de az elvek bemutatásához ez a példa elegendő.

Az ilyen cellás szervezésű távközlési műholdakat High-Throughput Satellite-nek (HTS) (nagyon nagy átbocsátóképességű műhold) nevezzük. A név magyarázata, hogy a cellás forgalomszervezésnek és a nagy teljesítményű erősítőknek köszönhetően ezek a műholdak szignifikánsan nagyobb átviteli kapacitással rendelkeznek, mint a korábbi üreszközök. Azonban – ahogy azt az előző példából is láthattuk –, ez a kapacitásnövekmény esetenként csak látványos, mert nagyban függ a forgalom áramlási irányától, a felhasználói állomások elhelyezkedésétől.

A védelmi célú műholdas távközlési rendszerekben a pontnyalábos HTS forgalomszervezés más szempontból bír nagy jelentőséggel. A fentebb említett térbeli elhatárolás eredményeként az adott pontnyalábba kisugárzott rádiójelek nem vehetők a pontnyaláb területén kívülről, és nem lehetséges a pontnyaláb területén kívülről zavarjeleket besugározni a nyalábba. Ismételtet azt láthatjuk, hogy az ellenséges rádióelektronikai műveletek elleni védettséget sokszorosára növeli a szolgáltatási terület cellákra osztása.

A HTS műholdak lehetőséget biztosítanak a cellák átrendezésére is, mert a sugárzórendszer fázisvezérelt. Az egyes cellák mérete kiterjeszthető vagy összezsugorítható, és helyük is változtatható az elméletileg belátott területen belül. Ez egyrészt alapvető szükségszerűség abban az esetben, ha a műholdnak relatív elmozdulása van a földfelszíni megfigyelőhöz képest, mert a földfelszínre vetített képnek (a cellakiosztásnak) állandónak kell lennie. Szuperszinkron elliptikus pályán keringő műholdak esetében még inkább fontos a cellakép folyamatos hangolása, mert ott nagymértékben változik a földfelszínre való rálátás.

A cellák átrendezésének lehetősége teszi alkalmassá a HTS műholdarchitektúrát arra, hogy mindig az aktuális műveleti feladathoz alkalmazkodva képezze a lefedettségi területet. Az üreszközök jellemzője, hogy a műszaki képességeiket a pályára állítás előtt kell meghatározni és kialakítani, utána azon változtatni távkonfigurációval csak akkor lehet, ha ez a változtatási képesség rendelkezésre áll. Egy hagyományos, sugárzóhálózattal formált nyalábot alkalmazó műhold esetében a szolgáltatási terület fix. Amennyiben ez a szolgáltatási terület átnyúlik az ellenség által ellenőrzött földrajzi területre, akkor a műhold teljes mértékben kitéve a zavarás és a forgalom-lehallgatás veszélyének. A HTS architektúrával időben és térben is lehet változtatni a lefedett területet, vagyis az ellenség területére csak



6. ábra. Az Azerspace-2 többfeladatú távközlési műhold antennarendszere
(Forrás: MAXAR)

akkor, és csak oda lehet pontnyalábot képezni, amikor és ahová szükséges. Figyelembe kell venni azonban azt, hogy egy ilyen nyalábképzés könnyen észlelhető – ami egyben arra is lehetőséget ad, hogy az információs műveleti tervben a megtevesztés eszközeként szolgáljon.

A kutatási programban eddig vizsgált geoszinkron és szuperszinkron műholdpályákra helyezett műholdak közül az első esetben nem szükséges a műholdfedélzeti HTS antenna- és sugárázórendszer módosítása, azonban a szuperszinkron esetben igen. Az elliptikus pályák miatt a műholdak távolsága jelentősen nagyobb a geoszinkron (geostacionárius) távközlési műholdak esetében megszokottnál, és ráadásul folyamatosan változik is.

A változó távolság miatt módosul a megvilágítandó terület relatív mérete, így változtatni szükséges a nyalábdivergenciát. Kiindulva abból, hogy a végleges antennarendszer továbbra is egy fázisrács sugárázó hálózattal megvilágított reflektorként alakítható ki a legcélszerűbben, a nyalábdivergencia (vagyis az antenna fókusz-távolsága) úgy módosítható, hogy a megvilágító sugárázórendszert nemcsak két, hanem három dimenzióban vezérelve üzemeltetjük. A sugárázó meghajtásánál így nemcsak fázisban, hanem időtartományban is el kell tolni a vezérlőjelet a szükséges mértékben. Ezáltal a sugárázó egyben egy virtuális segédlencseként is működik. Mivel a cél az, hogy az aktuális rádiótervnek (szolgáltatási tervnek) megfelelő lefedettségű mintát vetítse ki az antennarendszer a földfelszínre, az antennavezérlő működésének logikai útja az, hogy először is a földfelszín beláthatóságának megfelelően kialakítja a kivetítendő lefedettségű mintát (előtorzítva úgy, hogy annak a gömbfelületnek tekinthető földfelszínre való vetülése a megfelelő szolgáltatási területet alkotja), majd ezt a mintát defókuszálja úgy, hogy az állandó fókusz-távolságú reflektorról visszaverődve a minta pontosan az aktuális távolságban lévő földfelszínen legyen fókuszban. Ahogyan a mű-

hold bejárja pályáját (a felhasználói igényeket állandónak tekintve) folyamatosan változtatni kell a földfelszínre való rálátás irányának megfelelően a síkbeli előtorzítást, a távolság változásának megfelelően pedig a defókuszálást.

Az antennareflector mérete meghatározza a műholdfedélzeti rendszer eredő antennanyereségét. Nagy nyereségű antenna alkalmazásával megkönnyíthetjük a földi állomások antennájának kivitelezését. Ugyan a műholdon nem könnyű nagy méretű antennát elhelyezni, de ebből csak korlátozott darabszámmra van szükség (a bemutatott szuperszinkron konstellációk közül a legnagyobb is csak 8 műholdat használ), míg a földi állomások száma sokkal nagyobb. Ismételten vegyük figyelembe, hogy a potenciális felhasználók a katonai műveletvezetési rendszer elemei, amelyek a korszerű harc követelményeinek megfelelően mozgó járműveken, repülőeszközökön vagy a kato-

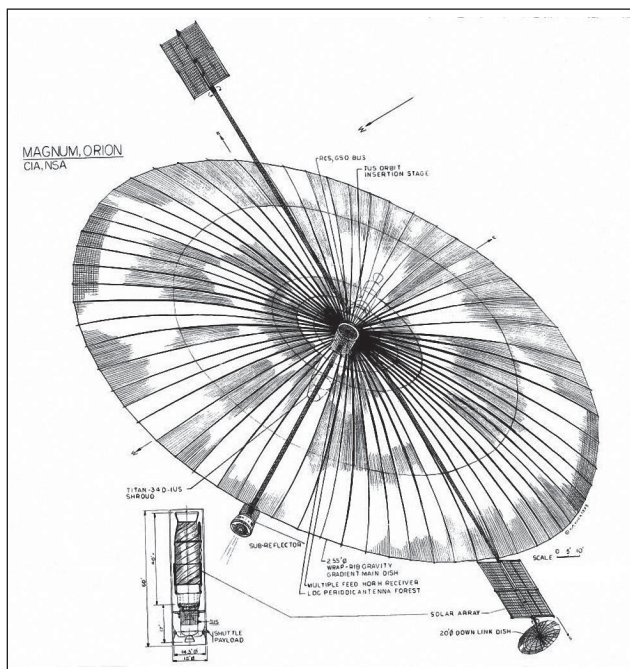
na egyéni felszerelésében helyeznek el, így méretük jelentősen korlátozott lehet bizonyos esetekben.

A polgári távközlési műholdakon is megtalálhatunk ma akár 12 méter átmérőjű antennareflektort. Ez természetesen a pályára állítás során összecukott állapotban van, és csak az üzemi röppálya elérését követően nyitódik ki. Ezzel az antennával az Inmarsat-4 és Thuraya műholdak a geoszinkron pályamagasságból képesek szolgáltatást nyújtani mobiltelefon méretű, nem irányított antennával felszerelt földi állomások számára.

Nem ezek voltak azonban a legnagyobb antennák geoszinkron műholdakon. A Rhyolite / Aquacade fedőnévű kéműholdsorozat feladata mikrohullámú adatátviteli rendszerek, illetve ballisztikusrakéta-tesztek során alkalmazott telemetriai rendszerek lehallgatása volt. Ehhez hozzávetőlegesen 20 méter átmérőjű parabolareflekttorral kialakított antennarendszert használt. Ezeket a műholdakat az 1980-as évek elejéig tartották rendszerben. Utódjuk, a Magnum / Mentor / Orion sorozat antennarendszere, a

7. ábra. 14 sorozatú műhold kinyitott antennareflekttorral (Grafika – Forrás: ESA)





8. ábra. Magnum/Orion elektronikai felderítő műhold nyitott antennarendszerrel (Forrás: globalsecurity.org)

nyilvánosan elérhető források szerint 80–100 méter átmérőjű reflektort tartalmaz.

Látható tehát, hogy a technikai feltételek adottak a megfelelő műholdfedélzeti antennarendszer kialakításához. A HTS forgalomszervezés megteremti a védett és nagy átviteli kapacitású távközlési rendszer irányítását, a három dimenzióban kontrollált megvilágító sugárzó lehetővé teszi az elliptikus pályák alkalmazását, a nagyméretű antennareflector pedig a nagy távolságból történő kommunikációt biztosítja a rosszabb rádiótechnikai jellemzőkkel rendelkező földi állomások számára is.

Az antennarendszer lehetőségeinek vizsgálatával a hivatkozott kutatási programom lezárul. Ez azonban nem jelenti azt, hogy a feladatot maradéktalanul elvégeztük volna. Hátra van még egy nagyon komoly megoldandó probléma, mégpedig a forgalomkezelő rendszer, a kommunikációs protokollok vizsgálata. Az elliptikus pályákon mozgó műholdak távolsága változik, ezt már említettük az antennarendszerrel kapcsolatban is. De emiatt változik a futási idő is, sőt, a szuperszinkron pályamagasság miatt ez a futási idő eleve hosszabb, mint a geoszinkron pályamagasságban. Ismert a műholdas távközlési gyakorlatban, hogy a földi üzemre tervezett informatikai hálózatvezérlési protokollok – elsődlegesen a TCP –, nem működnek optimálisan geoszinkron műholdas kapcsolaton, kiegészítő technikai megoldásokra van szükség a teljesítményvesztés megelőzése érdekében. A szuperszinkron műholdaknál ez még fokozottabban jelentkezik, és komoly odafigyelést igényel majd – biztosra vehetjük, hogy teljesen új kommunikációs protokollok kifejlesztésére lesz szükség.

ÖSSZEGZÉS

Az a mód, ahogyan a világűr napjainkban hasznosítjuk, fenntarthatatlan. Sem az alacsony Föld körüli pályán, sem a geostacionárius övben nem folytatódhat úgy az űrtevékenység, ahogyan ma zajlik. Jelen tanulmány írásakor éppen égimechanikai és adatelemző szakemberek tucatjai

számolták, vajon összeütközik-e két, összesen több mint két és fél tonna tömegű, üzemén kívüli műhold épp abban a magasságban, ahová az egykori szovjet óceánfelderítő műholdak (US-A sorozat) atomreaktorait parkoló pályára helyezték. 2020 január-februárjában a szakma aggódva figyelte, vajon sikerül-e kimanőverezni a Spaceway-1 műsorszóró műholdat a geostacionárius pályáról még azelőtt, hogy az akkumulátorai felrobbannának. Történt már ilyen robbanás korábban (DMSP-F13 az alacsony Föld körüli pályán), azóta tudjuk, hogy egy ehhez hasonló esemény következményei katasztrofálisak. Alig nyugodhattunk meg, máris érkezett márciusban a hír, hogy a VeneSat-1 „Simón Bolívar” távközlési műhold irányíthatatlanná vált, és az operátorok vészjelzéssel igyekeznek eltávolítani a többi üzemelő műhold pályatartományából. Ez a pályamódosítás csak részben sikerült mielőtt a műhold teljesen irányíthatatlanná vált, ezért most naponta „visszalátogat” az aktív térrészbe. Láthatjuk, hogy 2020 az űrben is a vészhelyzetek éve volt, és ki kell mondanunk, hogy a katasztrófákat nem elkerülni, hanem megúszni sikerült.

A trendek nem arra utalnak, hogy kedvező irányba mozdulna el az űrtevékenységek végrehajtása. Emiatt kell felkészülnünk arra, hogy ezt a két, egyszerűen és gazdaságosan hasznosítható világűrbeli térrészt néhány év, legfeljebb évtized alatt elveszítjük. Könnyen lehet, hogy a ma pályára álló geostacionárius műholdak lesznek az utolsók, amelyek még hasznos élettartamukat ki tudják tölteni itt.

A kutatási programban vizsgált pályák alkalmasak arra, hogy új alapokra helyezzük a világűr hasznosítását, új térrészeket nyissunk meg, vagy jelenleg is használt térrészt új szempontok alapján hasznosítsunk. Ez növeli az űrrendszerek védettségét a természetes és emberi eredetű veszélyforrásoktól, beleértve a rosszindulatú emberi károkozási szándékot (műholdelhárító fegyverek alkalmazását) is.

A kutatási program hivatkozott korábbi publikációi bemutatták a vizsgált pályák égimechanikai jellemzőit és alkalmazhatóságukat. Jelen tanulmány pedig kifejezetten a földi állomások és a műholdak antennarendszere, illetve a frekvenciamenedzsment szempontjából vizsgálta, hogy a ma is meglévő, technológiailag kidolgozott rendszerszervezési elvek és módszerek, az eredeti fejlesztési céljuktól eltérően milyen előnyöket nyújtanak a védelmi és biztonsági célú űrtávközlési rendszerekben.

Megállapíthatjuk, hogy ezek a műszaki megoldások nem pusztán kényszerből alkalmazandók az új műholdpályák hasznosításához, hanem az irányított kisugárzás és a szolgáltatási terület rugalmas felosztása révén komoly védelmet képesek nyújtani a rádióelektronikai műveletek hatásaival szemben is. Így alkalmazásuk elengedhetetlenül szükséges a korszerű műveletvezetési rendszerekben.

Köszönetnyilvánítás:

A publikáció elkészítését az Innovációs és Technológiai Minisztérium Új Nemzeti Kiválóság Program támogatta, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal szakmai együttműködésével. ÚNKP azonosító: ÚNKP-19-3-I-NKE-22. <http://unkp.gov.hu>



FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Carsten Metz. *Phased Array metamaterial Antenna System, United States Patent nr. US 6,958,729 B1*, 2004 március 8. Elérés: 2020. 11. 10. <https://patentimages.storage.googleapis.com/c5/a7/d2/152115c3e7683d/US6958729.pdf>;
- [2] Aycan Erentok, Richard W. Ziolkowski. *Metamaterial-Inspired Efficient Electrically Small Antennas*, 2008 március. Elérés: 2020. 11. 10. https://uweb.engr.arizona.edu/~ziolkows/research/papers/Metamaterial-Research/Antennas/Erentok_Ziolkowski_IEEE_Trans_AP_Mar_2008.pdf;
- [3] *Exhibit D Inmarsat 4F1 & 4F3 Technical Description*, Elérés: 2020. 11. 10. https://www.fcc.gov/myibfs/download.do?attachment_key=-143731&usg=AOvVaw0wjK60Gf_Jhum4nGOvTyUC;
- [4] *Boeing Commercial Satellite Services Inmarsat-5: Overview Brief for Arctic*, 2014 augusztus, [https://www.](https://www.ntia.doc.gov/files/ntia/boeing_satcom_for_alaska1.pdf)

[ntia.doc.gov/files/ntia/boeing_satcom_for_alaska1.pdf](https://www.ntia.doc.gov/files/ntia/boeing_satcom_for_alaska1.pdf), letöltve: 2020.07.06.;

- [5] Charles P. Vick. *MAGNUM-ORION NRO/CIA/NSA SIGINT Spacecraft*, 2007 Elérés: 2020. 11. 10. <https://www.globalsecurity.org/space/systems/magnum.htm>;
- [6] *Orion 1,2 (Magnum 1,2)* Elérés: 2020. 11. 10. https://space.skyrocket.de/doc_sdat/orion-1_nro.htm.

JEGYZETEK

- 1 ÚNKP azonosító: ÚNKP-19-3-I-NKE-22.
- 2 Az előadáshoz kapcsolódó szimulációk megtekinthetők a <https://horvath.space/comconf-2019-material/> címen.
- 3 A tanulmány a Haditechnika folyóirat 2020/6. szám 35–42. oldalán jelent meg (DOI:10.23713/HT.54.6.08); a kapcsolódó szimulációk megtekinthetők a <https://horvath.space/draim-hemispheric/> és <https://horvath.space/modified-draim-tetrahedral/> címeken.

Törös István

A csillagok útján

Farkas Bertalan, az első magyar űrhajós

Biztosan sokan gondoltak már arra, hogy naponta hányszor tekintünk fel az égre, kémlelve az időjárást, figyelve a felhőket, este meg a holdat és a csillagokat. Farkas Bertalannak megadatott, ami csak nagyon keveseknek, ő a világűrben is szemlélhette csodálatos világunkat.

1980. május 26-án, magyar idő szerint 20 óra 20 perckor, az Interkozmosz program keretében indult el Bajkonurból a világűrbe az első magyar űrhajós, Farkas Bertalan fedélzeti mérnök Valerij Kubaszov parancsnokkal a Szojuz-36 űrhajó fedélzetén. Magyarország a hetedik „űrnemzet” a világon, amelynek állampolgára eljutott a Föld körüli pályára. A számos, korábban még nem publikált fotóval illusztrált kiadvány a gyulaházai szülői házból indulva meséli el az akkor még Bertinek hívott szorgalmas tanuló, jól sportoló fiatalember életútját. Gimnázium, szolnoki Repülőműszaki Főiskola, Szovjet Repülőműszaki Főiskola, majd következett Pápa, ahol a magyar légierő tisztje 1976-tól első osztályú vadászpilóta lett. De mitől vadászpilóta a vadászpilóta? Látszólag csak három dolog szükséges a mesterséghez: bördzseki, napszemüveg és speciális pilótaóra. Ez a felszerelés már a '60-as években is megvolt a kiválasztottaknak. Ahhoz azonban, hogy valaki az ég katonája legyen, sokkal több elvárásnak kell megfelelnie. Az első osztályú vadászpilóta számára előírt követelmény a bármely napszakban és időjárási viszonyok közötti hadrafoghatóság. Minden körülmények között tökéletesen kell repülnie, az ehhez vezető tudás hosszú, egymásra épülő tanulási folyamatok nyomán szerezhető meg. Farkas Bertalan százados 1978-ban kezdte meg az űrhajós kiképzést. 1980-ban, a Szojuz-36 űrhajó fedélzetén az alábbi rádióüzenettel várta a kilövés pillanatát: „Jelentem: a Szojuz-36 űrhajó fedélzetén űrrepülésre kész vagyok. Minden tudásomat, erőmet megtisztelő feladatom maradéktalan végrehajtásának szenteltem”. Az asztronauta 7 nap 20 óra 45 perc után befejezte küldetését.

Az egykori százados – ma már nyugalmazott dandártábornok – az Űrhajósok Nemzetközi Szövetsége és a Space for Earth Alapítvány alapító tagja, az MTA Interkozmosz Tanács kutatócsoportjának munkatársa. Az űrutazás során leghíresebb kísérleti programja az Interferon volt, de a Dóza-kísérletben részt vevő, a KFKI által gyártott Pille sugárdózismérő is rendkívül jelentős eredményt hozott a későbbi kutatások számára az országnak. Farkas Bertalan, tevékenységével nemzetközi elismerést vívott ki Magyarországnak, és mind a mai napig részt vesz az űrkutatás népszerűsítésében. A kötet érdekfeszítő olvasmány azoknak, akik tisztelik és megbecsülik az emberi teljesítményt, kitartást, érdeklődnek napjaink legsokoldalúbb tudományos és technikai kutatásai, a világűrhez kapcsolódó tevékenységek iránt. A magyar űrutazás 40. évfordulója alkalmából megjelent, Törös István által szerkesztett kötet sokoldalúan, személyes stílusban mutatja be a vadászpilóta, űrkutató pályáját napjainkig.

A Zrínyi Kiadó által 2020-ban megjelentetett cérnafűzőtt, keménytető, számos fotóval illusztrált kötet terjedelme 169 oldal. 7800 Ft-os áron kapható a könyvesboltokban, illetve közvetlenül a Zrínyi Kiadótól is, 25%-os helyszíni kedvezménnyel. Cím: 1024 Budapest, Filler utca 14., (tel.: 06 1-459-5373, e-mail: cinti@hmzrinyi.hu), továbbá megrendelhető a shop.hmzrinyi.hu weboldalon. (F.K.F.)



14. ábra. A Lance toronnyal ellátott KF41-es Lynx egyik prototípusát 2020. szeptember végén, a bakonyi lő- és gyakorlóterén mutatta be a Magyar Honvédség (Fotó: Baranyai László)



Ocskay István*

A Lynx harcjárműcsalád fejlesztése, technikai leírása és jövője **II. rész**

A Lynx (Hiúz) a 21. századi elvek alapján épített egyik legkorszerűbb láncaltalpas gyalogsági harcjármű. A tanulmány első része részletesen ismertette a Lynx harcjárművek fejlesztésének történetét, főbb technikai paramétereit, jellemző technikai megoldásait és meghatározó részegységeit. A második részben a motor és az erőátviteli berendezések, a futómű és a felfüggesztés bemutatására kerül sor. A szerző ismerteti a moduláris Lance torony szerepét, képességeit, valamint a fő fegyverzetként beépíthető MK30-2/ABM és a WOTAN-30, ill. -35 típusú géppáncél, illetve a javasolt géppáncélösszerek típusait. A Zrínyi 2026 Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program keretében beszerzett harcjárművek 2022-től a Magyar Honvédség nehézdandár képességét erősítik.

MOTOR ÉS ERŐÁTVITELI BERENDEZÉSEK

A Lynx KF31 típusú alapmodellbe egy 24 200 cm³ hengerterefogatú, 750 kW (1000 LE) maximális teljesítményű, Liebherr gyártmányú, D9512 típusú, 12 hengeres V-elrendezésű motort szereltek be. A 2016-ban épített kísérleti változatba a kisebb teljesítményű Liebherr D976 típusú, soros, 6 hengeres, 18 000 cm³-es motort szerelték be, amelynek legnagyobb teljesítménye 620 kW (830 LE) volt 3,650 Nm maximális forgatónyomatékkal, azonban a kisebb teljesítményű motortípus nem felelt meg az elvárt követelményeknek.

A harceszköz kiváló mozgékonyasága a 4,675 Nm-es nyomatékokat leadó dízelmotorok és az Allison/Perkins X300-5 típusú hidrodinamikus nyomatékváltónak köszönhető (16. ábra). A nyomatékváltó kialakítása lehetővé teszi, hogy a harcjármű az eszköz súlypontja körül is végrehajthasson fordulásokat, azaz a harcjármű egyik láncaltalpa előre, míg a másik hátrafelé mozogjon.

A közel 50 tonna harci tömegű KF41-es harcjármű esetében – annak érdekében, hogy a fajlagos teljesítménye hasonlóan kiváló lehessen, mint a KF31-esé –, a nagyobb teljesítményre képes, 27 000 cm³ lökettérfogatú Liebherr D9612 típusú motort alkalmazták. Az 1100 kW (1470 LE) teljesítményű motor 6,230 Nm csúcsonyomatékokat biztosít a Renk HSWL 256 típusú, 6 sebességű, szintén hidrodinamikus nyomatékváltón keresztül (15. ábra).

A harcjárművek motorját gyártó Liebherr vállalatnak ez az első katonai megrendelése, eddig főleg építőipari gépekhez gyártott megbízható, hosszú élettartamú erőforrásokat. A Puma harcjárműbe épített MTU¹⁰ erőforrásokhoz képest ezek a motorok jóval olcsóbbak, kedvezőbb nyomaték- és fogyasztási értékekkel rendelkeznek. A kereskedelmi forgalomból beszerezhető (COTS)¹¹ motorok –20 °C-ig nem igényelnek előmelegítést, ennél hidegebb környezeti hőmérséklet esetén egy Webasto típusú állófűtő-berendezéssel elvégezhető az előmelegítés. Ez az eszköz egyúttal az állóhelyi fűtést is biztosítja a küzdőterben.

A harcjárművek 950 literes összes üzemanyag-mennyisége biztosítja a 600 km-es hatótávolság teljesítését még

* Mk. ezredes, MH Modernizációs Intézet, parancsnokhelyettes, K+F igazgató, NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Katonai Műszaki Doktori Iskola, ORCID: 0000-0003-0279-8215



15. ábra. A Liebherr D9512, valamint D9612 típusú motor, mint a KF31-es és a KF41-es gyalogsági harcjárművek erőforrása

a tagolt, átszeldelt terepen végrehajtott menetek esetén is. Az üzemanyag-tartályokat a küzdőtér két oldalára, a jármű külső oldalpáncéljára szerelték fel, meggátolva, hogy robbanás esetén a tűz a küzdőtérben égési sérülést okozhasson. Ez az építési megoldás jellemző a járműben alkalmazott többi munkafolyadék, robbanóanyag és lőszer tárolása esetében is. A motor hűtőrendszere a harcjármű farpáncélján bal és a jobb oldalon elhelyezett 2 db hűtőből áll, amely kialakítással a tervezők a lehető legalacsonyabb infravörös kibocsátást, az optimális ballisztikai védelmet és a megfelelő súlypontot kívánták elérni.

A motortér felnyitása egyszerű, torziós rugós megoldású, egy fő által is végrehajtható. A harceszköz nagy előnye a minden oldalú modularitás, amely a motorra is igaz. A motor a nyomatekváltóval együtt (power-pack rendszerben), egy 5 tonnás daru segítségével mintegy 40 perces munkával kiemelhető, így akár harci körülmények között is cserélhető, javítható. A motor teljesítménye lehetővé teszi segédberendezések meghajtását is, tehát a jármű alvázán kialakítandó további változatok esetében (pl. mentő-vontató jármű) a segédberendezések meghajtásához elégséges teljesítmény áll rendelkezésre. A NATO STANAG 4659 szerinti maximális akna elleni védelem miatt a motor és az erőátviteli berendezések olajcseréjét azonban csak azok kiemelését követően lehet végrehajtani, mivel a haspáncélon semmilyen szerelő-, vagy leeresztőnyílás nem található.

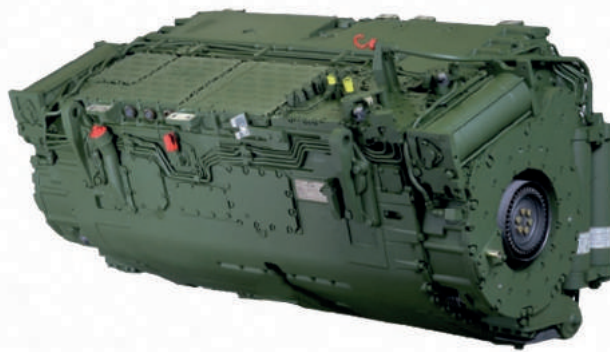
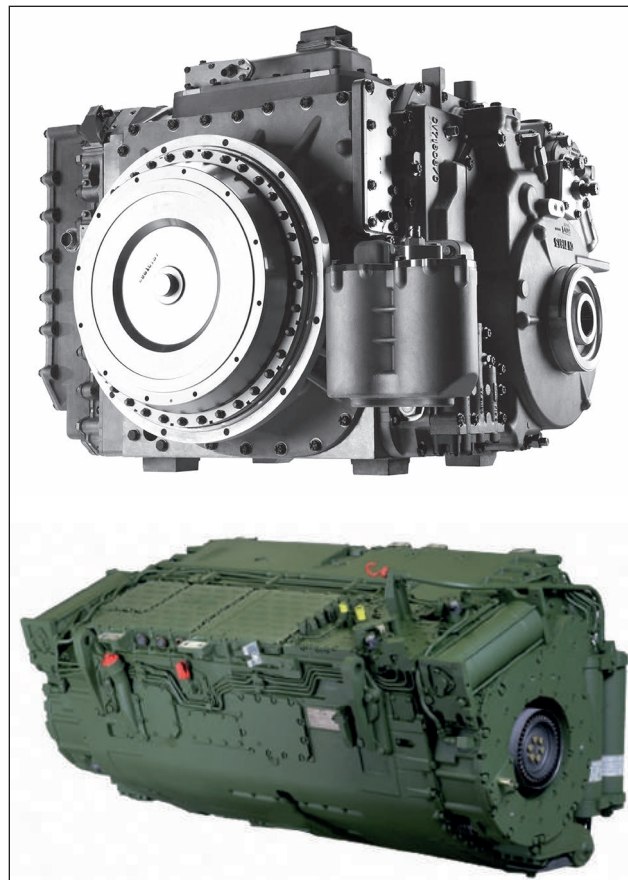
A harcjármű nem rendelkezik kisegítő áramforrással (APU)¹². (A kisegítő áramforrás alapfelszereltsége a korszerű harcjárművek többségének, és a fő meghajtómotor járatása nélkül, kis hőkibocsátás és hanghatás, valamint alacsony üzemanyag-fogyasztás mellett is biztosítsa a fedélzeti berendezések tápáram-ellátását.) A Lynxnél – egyedi műszaki megoldással – más technológiát alkalmaztak a tervezők. A Liebherr motor ugyanis átállítható olyan üzemmódra is, amikor emelt, 1000/perc fordulatszámon tartósan csak 25 kW teljesítményt biztosít alacsony, 12 l/h üzemanyag-fogyasztás mellett. Ilyenkor minden fedélzeti berendezés – fűtés-szellőzés, légkondicionáló, akkumulátortöltés stb. – működőképes marad, kivéve a hidraulika-rendszer táplálását, amelyre azonban amúgy sincsen szükség, hiszen az csak a jármű mozgása közben kerül alkalmazásra.

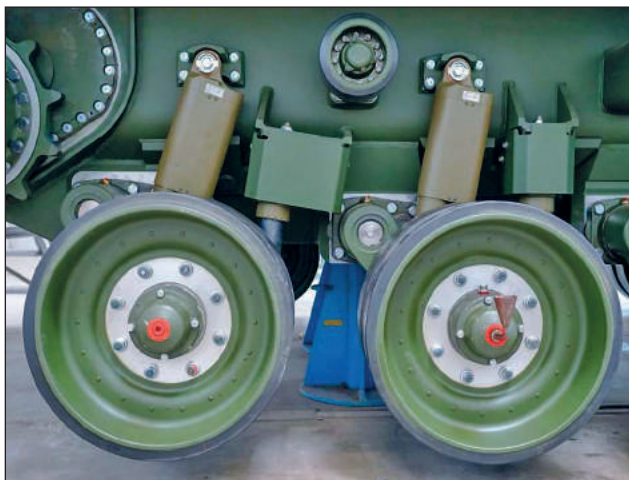
A harcjármű elektromos rendszere 24 V-os, érdekessége, hogy ellentétben például a Leopard 2A7HU harckocsi-val, amelyben 8 db NATO-szabványos 6E6 12 V-os akkumulátort alkalmaznak, a KF41-esbe 4 db Li-ion akkumulá-

tor került. Az akkumulátorokat az amerikai Bren-Tronics Inc. vállalat szállítja, típusa 6T, kapacitása 103 Ah, lényeges tulajdonsága, hogy hidegindításnál (–18 C°-on) az áramerősség 1100 A és ez az érték még –40 C°-nál sem megy 400 A alá.

Az erőátviteli rendszerek tekintetében is eltér a két harcjárműtípus. A KF31 nyomatekváltóját az amerikai Perkins Engines Company Limited vállalat szállítja, míg a korszerűbb KF41 típusét a német Renk AG. Mindkét váltómű hidrodinamikus rendszerű automata nyomatekváltó.

16. ábra. A KF31-es harcjármű Allison/Perkins X-300-5 típusú, valamint a KF41-es harcjármű Renk HSWL 256 típusú nyomatekváltója





17. ábra. A Supashock rugóelemekkel felszerelt mellső két Z-tengely KF41-es bal oldali futóművénél

Az Allison/Perkins X-300-5 nyomaték-váltó esetében 4 előre és 2 hátrameneti fokozat érhető el, míg a Renk HSWL 256 típus esetében 6 előre és 6 hátrameneti fokozatra van lehetőség. Az előbbi nyomaték-váltót a svéd gyártású CV harcjárművekbe építik be, míg az utóbbi német nyomaték-váltó a brit Ajax, illetve a Puma harcjárművek egysége. Az amerikai nyomaték-váltóval ellentétben a német nyomaték-váltó nemcsak a jármű súlypontja körüli elfordulást biztosítja, hanem nyitott differenciálzárral esetén olyan „sarkonfordulás” végrehajtására is lehetőséget ad, ahol a nagyobb talajellenállás irányába történik a harcjármű körbefordulása. A két nyomaték-váltó külső nézete a 16. ábra alapján hasonlítható össze.

FUTÓMŰ ÉS FELFÜGGESZTÉS

A KF31 harcjármű futóműve hagyományos torziós rugózású, hidraulikus lengéscsillapítással, a láncmeghajtó kerék előtt, a mechanikus állítású láncfeszítő kerék hátul helyezkedik el, a lánc felső visszatérő ágát pedig 3-3 hagyományos lánctartó görgő biztosítja. A futómű egyszerűsége

azonban nem megy a menetdinamikai képességek és a kényelem rovására. A harcjármű gumicsuklós, gumibetétes, kettős láncsapszeggel ellátott fémlánccal, szekcionált fém-gumi kompozitlánccal, vagy a Soucy International Inc. vállalat által forgalmazott teljes gumilánctalppal szerelhető. Az utóbbi esetben oldalanként 1,5-1,5 tonna rugózatlan tömeget lehet megtakarítani a Diehl Defence GmbH & Co. KG gyár teljes fémláncahoz képest. A gumicsuklós fémlánccal alkalmazásával a küzdőtér zajterhelése 85-90 dB között mozog, míg teljes gumilánctalp esetén ez az érték 75 dB alá szorítható. A harcjármű futóműve 2-4 óra alatt átszerelhető a fenti három láncfajta valamelyikére, ennek érdekében csak a láncmeghajtó kerék lánckoszorúit kell átcserélni, a futómű többi elemét úgy tervezték, hogy ehhez a cseréhez más módosításra nincs szükség.

A KF31 típusúval ellentétben, a fejlesztéseknek köszönhetően a KF41 típusnál – a torziós rugózáson túl –, a futómű minden elemét megváltoztatták. Ezt az átalakítást az a tény tette szükségessé, hogy a KF41 nagyobb modularitása miatt, a különböző kialakítású és funkciójú harcjármű-változatoknak jelentősen eltérhet az össztömege, amelyet a futóműnek, a vibrációmentes és egyenlő terhelések elviselése érdekében, le kell követnie. A Rheinmetall AG vállalat az ausztrál Supashock céggel együtt megalkotta azt az ideális futómű-kialakítást, amellyel ezek a követelmények a lehető legnagyobb mértékben teljesíthetők. A harcjármű bal mellső részéről készült fotón (17. ábra) jól látszanak a felfüggesztés elemei.

A közösen megalkotott és az ausztrál sivatagban, valamint a német katonai tesztpályán¹³ is kipróbált futómű főbb elemei a következők:

- a különböző tömegekhez legjobban illeszkedő Z-tengely-kialakítás;
- rezgéscsillapítókkal ellátott láncátmasztó görgők (4-4 db);
- hidraulikusan, akár menet közben is állítható láncfeszítő görgő;
- hidraulikus energiaelnyelő ütközők minden lengőkarhoz;
- szabályozható teljesítményű, hidraulikus lengéscsillapítók a mellső és az utolsó két Z-tengelyhez.

A KF41-es harcjármű kihajtóművei is a Renk AG vállalat termékei. Érdekességük, és a logisztikai ellátás szempontjából kedvező, hogy a jobb és a bal oldali kihajtóművek csereszabatosak egymással. A kihajtóművek gyorsan old-

18. ábra. A harcjárművezető munkahelye a KF41-esben



ható mechanikus kapcsolatai biztosítják, hogy a motor és a nyomaték váltó blokk kb. 40 perc alatt kiemelhető lehessen a harcjárműből.

A kezelői szintű technikai kiszolgálások tekintetében az eszköz nem igényel motortérnyitást. Az összes funkciót digitális mérés nyomán jeleníti meg a kijelző. Ennek megfelelően a harcjármű élettartamának meghosszabbítása és megóvása érdekében számtalan digitális protokollt (tiltások, figyelmeztetések stb.) integráltak a rendszerbe. Ezek a protokollok azonban harcban, vagy életveszély elhárítása érdekében – akár a működtető rendszerek és alrendszerek meghibásodása mellett is –, a vészhelyzeti gombokkal felülírhatók. A jármű elektromos rendszerének alapja a korszerű NGVA¹⁴ adatbusz rendszer, amely szintén tartalmaz egy vészhelyzeti programot arra az esetre, ha a fedélzeti komputer vagy a motor és a nyomaték váltó vezérlőszámítógépei meghibásodnának. Ilyenkor egy alapprogram futtatásával az eszköz mindaddig mozgásképes marad, míg a keletkezett hibát elhárítják.

A harcjárművezető munkahelyét az ergonómiai követelmények maximális figyelembevételével tervezték és fejlesztették ki. A szakemberek a Rheinmetall Kodiak lánctalpas műszaki munkagép vezetőterének kialakítását, és az ott nyert tapasztalatokat vették alapul. Egyik ilyen fontos tapasztalat, amelyet már a US NAVY¹⁵ is alkalmaz, hogy az érintőképernyőn kívül a legtöbb és legfontosabb feladatot mechanikus gombokkal is végre lehessen hajtani. A mechanikus kapcsolókon ugyanis azonnal látható, milyen állásban vannak, a sokszor szennyeződött, olajos, vizes érintőképernyőn azonban nem lehet időben átkapcsolni a szükséges műveletekre. A harcjármű vezetését egy szarvkormány biztosítja, amelyre a legfontosabb kijelzőket és szabályozó szerveket – így a nyomaték váltó állását és a pillanatnyi sebességet, a motorfordulatszámot, valamint a világítás és irányjelző kapcsolóját, a periszkópok mosóját és a kürt nyomógombját – is integrálták. A harcjárművezető műszerfala, annak kialakítása a 18. ábrán látható.

A LANCE TORNYOK

A Rheinmetall AG, nagy hagyományokkal rendelkező fegyvergyártó vállalatként, még 2006-ban megkezdte egy olyan közepes toronyrendszer kifejlesztését, amelyre az általa végzett piacfelmérés alapján az akkori harcjárműveknek szükségük lehetett. Úgy gondoltak, hogy mind a kelet-európai, mind a nyugati harcjárművek elodázhatalan fejlesztések elé néznek, illetve az új harcjárművek részére is

19. ábra. A MOWAG Piranha Evo 8x8 harcjármű Lance toronnyal



20. ábra. A MOWAG Piranha IIIC kerekes harcjármű Lance toronnyal, a spanyol tengerészgyalogság állományában

alternatívaként jelentkezhetne egy moduláris torony megjelenése, amelynek mérete, tömege, a hordozójárműhöz skálázható. Ez volt az MTS¹⁶ Lance torony, amelyet a közepes és a nehéz harcjárművek számára terveztek, alapvetően 30 mm-es gépágyúval szerelve. Az űrméretváltásnak is volt jelentősége, hiszen a korábbi nyugati típusokban rendszeresített, jellemzően 20-25 mm-es gépágyúk és az azokhoz tartozó lőszer pusztító hatása, páncéltűtő képessége, a missziós tapasztalatok alapján már nem volt elegendő az ellenség által alkalmazott harcjárművek védtettségével szemben. Ennek megfelelően az MTS Lance toronyba is a már bevált, és a kezdeti nehézségeken túljutott MK30-2 gépágyút építették be, bár maga a torony mérete és kialakítása lehetővé teszi más, 20–40 mm közötti gépágyúk beszerelését is. Párhuzamosított géppuskaként a jól bevált 7,62 mm-es géppuskát választották, valamint a harcokcsik és más páncélozott célok leküzdésére lehetőség volt páncéltörő rakéta integrálására is.

A MOWAG Piranha Evo 8x8 harcjárműbe beépített MTS Lance tornyokat először 2008-ban, az Eurosatory kiállításon mutatták be (19. ábra).

Ennek a toronynak az első alkalmazására a spanyol tengerészgyalogság Piranha IIIC harcjárművein került sor, mint az a 20. ábrán is látható.

Kétszemélyes toronykialakítás esetén mind a parancsnok, mind az irányzó külön-külön figyelő és irányzó berendezéssel rendelkezik, de volt ennek távirányított változata is a Marder CCV/Evolutionra optimalizálva. Igaz, ebben egy WOTAN-30-as, elektromosan meghajtott gépágyú került. Mivel a tervezők nem voltak megelégedve a fegyver képességeivel, ezért az először Lance Light, majd később csak Lance toronynak nevezett, személyzettel ellátott toronyba már a Puma harcjárműbe fejlesztett MK30-2/ABM¹⁷ típusú gépágyú került.

Ezen az alapokon folytatódott tovább a Lance fegyverplatformok fejlesztése, és gyalogsági harcjármű felszereltséggel ez került az első KF31-es harcjármű fegyverzeteként alkalmazásra. A modulok cseréjével gyorsan változtatható a jármű feladatrendszere, sérülés, meghibásodás esetén a páncéltestből a torony a tetőpáncéllal együtt kiszerezhető és másik páncéltestre integrálható, akár egy hadszíntéri javító alegység alkalmazásával is.

A Lance tornyokban kézenfekvő volt az MK30-2/ABM 30 mm-es gépágyú alkalmazása (21. ábra), hiszen egyrészt ez volt a Puma fő fegyverze is, másodsorban ez a Mauser, ma már a Rheinmetall vállalat részét képező, nagy múltra visszatekintő fegyvergyár terméke. A toronyfegyver alapja az MK30-2 típusú gépágyú, amelyet az Oerlikon Contraves AG vállalat által az ezredforduló idején kifejlesztett, ún. AHEAD¹⁸ technológiával fejlesztettek tovább. Mivel ez a gépágyú teljes mértékben megegyezik a Lance tor-





21. ábra. Az MK30-2 ABM 30 mm-es gépágyú

nyokba szerelt verzióval, annak részletes ismertetése Ocskay István: A Puma lánctalpas harcjármű rendszeresítésének útja a Bundeswehrben című tanulmányának II. részében (Haditechnika 2020/3. szám 54–59. oldalán) olvasható. Csak az összehasonlíthatóság érdekében álljon itt a fegyver főbb jellemzőit összefoglaló táblázat.

2. táblázat. Az MK30-2/ABM típusú gépágyú főbb paraméterei

Űrméret:	30 mm
Hosszúsága:	3780 mm csőszájszerelvénnyel
Csőhosszúság:	2700 mm csőszájszerelvény nélkül
Szélessége:	310 mm a dupla adogatósinek rögzítőivel együtt
Alkalmazott lőszer:	30 × 173 mm
Magassága:	296 mm
Teljes tömege:	198 kg az adogató tálcákkal együtt
Cső tömege:	78 kg
Tűzgyorsaság:	600 lövés/perc (mechanikusan korlátozva 200 lövés/percre)
Hátralökő erő nagysága:	~18 000 N

A Lance tornyok ezen felül fő fegyverzetként felszerelhetők a WOTAN 30, illetve WOTAN 35, 30 × 173, illetve 35 × 228 mm-es szabványú NATO-lőszert tüzelő, elektromos hajtású gépágyúkkal, amelyek szintén rendelkeznek ABM képességgel. Az elektromos külső meghajtás miatt a fegyverek teljesítménye, tűzgyorsasága nem függ az aktuális löporgáznyomástól, könnyedén szabályozható. Hasonlóan az MK30-2/ABM gépágyúhoz, ezek a fegyverek is két különböző lőszerfajta kezelésére, adogatására alkalmasak. A futurisztikus megjelenésű fegyver a 22. ábrán látható.

22. ábra. A WOTAN 30, 30 mm-es gépágyú hőkompenzáló burkolattal



3. táblázat. A WOTAN 30 ABM típusú gépágyú főbb paraméterei:

Űrméret:	30 mm
Hosszúsága:	3670 mm csőszájszerelvénnyel
Csőhosszúság:	2650 mm csőszájszerelvény nélkül
Szélessége:	345 mm
Alkalmazott lőszer:	30 × 173 mm
Magassága:	388 mm
Teljes tömege:	380 kg
Cső tömege:	108 kg
Tűzgyorsaság:	max. 200 lövés/perc
Hátralökő erő nagysága:	~12 000 N

A 30 és a 35 mm-es lőszert tüzelő fegyver egymással teljesen megegyező szerkezettel rendelkezik, eltérés természetesen az űrméret és vele együtt a nagyobb lőszer kezeléséhez szükséges alkatrész méretében, tömegében jelentkezik. Mindkét fegyver beszerelhető mindkét Lance torony fegyverrögzítő bőlcsőjébe. Az elektromos meghajtású fegyverek beépítése esetén a toronyban elhelyezett külön áramforrás alkalmazása biztosított annak érdekében, hogy a fedélzeti elektromos hálózat meghibásodásakor is alkalmazni lehessen azokat, és ne szűnjön meg a fegyverhasználat lehetősége.

A gépágyúkhöz alkalmazható a 30 × 173 mm-es NATO-szabványos lőszerpaletta, amelyből a 23. ábrán látható lőszer alkalmazását javasolja a vállalat. Az ajánlott lőszer az alábbiak:

- PMC287, APFSDS-T¹⁹, űrméret alatti szárnystabilizált nyíllövedék, páncélozott célok ellen;
- PMC283, FAPIDS-T²⁰, repeszképző magú páncéltörő gyújtó lövedék, gyengébben páncélozott célok ellen;
- PMC358, SAPHEI-T²¹, páncéltörő képességgel is rendelkező repeszlövedék, vegyes, akár légijárművek elleni alkalmazásra;
- PMC308, KETF²² ABM, kinetikus energiájú, időzített gyújtóval, levegőben detonáló lövedék, különböző feladatokra;
- PMC381, PELE²³, növelt járulékos hatással rendelkező penetrátorral szerelt lövedék;
- PMC307, TPFDS-T²⁴, űrméret alatti lövedék gyakorló változata, nyomjelzővel;
- PMC355, TP-T²⁵, KETF és a SAPHEI lövedékek gyakorló változata, kis repeszképző hatással, nyomjelzővel.

A 30 mm-es KETF ABM levegőben detonáló (robbanó) lőszer képes arra, hogy a lézertáv mérő adatai alapján, valamint a lövedék csőtorkolati sebessége alapján beállítsa a lőszer gyújtóját, hogy a célterület közelében, illetve a felett robbanjon. Így jelentős kiterjedésű repeszhatás érhető el, és ez a lőszer jól használható a nem páncélozott technikai eszközök figyelőműszereinek üzemképtelenné tételére, olyan célok ellen, mint pl. a harci helikopterek optikai berendezései vagy a drónok. Az előre kialakított algoritmusok és tüzelési alap modellformák alkalmassá teszik az eszközt a légi célok pusztítása mellett konvojok és beásott gyalogság megsemmisítésére is. Ha a levegőben detonáló képességet nem aktiválják, akkor a lövedék általános repeszhatású lövedékként viselkedik.



23. ábra. 30 × 173 mm-es, alkalmazásra javasolt géppágyú-lőszer

A Lance tornyokba telepített párhuzamosított fegyverek többféle típusal is kompatibilisek, így az MG3, MAG58 és PKT géppuskák is illeszthetők a géppágyúhoz. A párhuzamosított géppuska málházott alap lőszerkészlete 500 db lőszer, amelyen felül további 200-300 db lőszer helyezhető el a harcjármű küzdőterében.

Az eddigi Lance tornyokat kivétel nélkül az MK30-2/ABM géppágyúkkal gyártották, ezért a továbbiakban ennek a fegyvernek a technikai részleteit ismertetjük.

A géppágyúhoz málházott lőszer mennyiség 200 db, de a küzdőterben, a toronykoszorú mellett/alatt további 194 db, hetesével hevederezett lőszer lehet tárolni. Amennyiben nem lőtték ki az előre málházott lőszerkészletet teljesen üresre (a megmaradó 25 db lőszerrel megáll a lövés mene- te), az irányzó manuálisan tudja tovább tölteni a lőszer- csatornákat a torony elhagyása nélkül. Ehhez a bal oldalon ki kell nyitnia a torony belső burkolatát, majd mind a két adogatós csatornát fel tudja tölteni lőszerrel. Amennyiben a feladat végrehajtása szükségessé teszi, hogy a két adogatós bármelyikéből 25 lőszer alá győjön a lőszerkészlet, akkor annak utántöltése már csak a toronyból történő ki- szállással végezhető el. A lőszer adogatása mindkét to- ronyban a géppágyú bal oldalán történik a géppágyú emelő- mechanika központi csapágyszárazán keresztül, így a gép- ágyú +45° és -10° közötti magassági tartományban, és természetesen 360°-ban körbe forgatható.

Mind a fegyveremelés, mind a torony forgatása elektro- mos rendszerekkel történik, követve azt a nemzetközi gya- korlatot, hogy a nagy nyomású hidraulikarendszerek minél jobban szoruljanak ki az új harcjárművek gyártása, vagy korábbi gyártás harcjárművek felújítása, modernizálása során. A Lynx KF41 esetében az amerikai Curtiss-Wright Corp. vállalat TDSS rendszerét alkalmazták, amelyet Sváj- cban gyártanak. Ennek a komplex rendszernek részei a ma- nuális működtetést biztosító elemek, az elektromos torony- forgatást biztosító motorok, illetve a fegyveremelést biztosí- tó lineáris elektromos mozgatóberendezések, az irányzó és a parancsnok kezelőszervei, valamint a stabilizált üzemmó- dot működtető elektromos és optikai szenzorok, giroszkó- pok, az elektromos táplálást biztosító egységek, kábelek.

Mind a toronyforgatás, mind a fegyveremelés maximális sebessége 60°/perc értékű. A száloptikás lézergiroszkópok nem tartalmaznak mozgó alkatrészeket és hasonlóan a rendszer többi eleméhez, beépített ellenőrző rendszerrel rendelkeznek. Az alkalmazott HMI²⁶-ek követik a kor elvá- rásait, tervezésüknél figyelembe vették a „célközönseget”, ennek megfelelően a Lynx KF41 harcjármű irányzótömbje- nek kialakítása a számítógépes kontrollerekhez hasonlatos kialakítást tükröz. A hagyományos és a korszerű követel-



24. ábra. A hagyományos (balra) és a felhasználóra optimalizált (jobbra) kialakítású irányzótömbök a KF41-es harcjárműből

mények alapján készült irányzótömbök közötti különbség jól látható a 24. ábrán.

A torony tetején helyezkedik el az MSSA²⁷, azaz a pa- rancsnoki figyelő műszerrel vezérelhető távirányított fegy- verrendszer, amelybe, a párhuzamosított géppuskákhoz hasonlóan, többféle fegyver is integrálható. A fegyveráll- vány körbe forgatható, kialakítása annyira masszív, hogy a 12,7 × 99 mm-es M2 nehézgéppuskát is tudja kezelni, fel- fogja annak hátrasiklási erejét, de sokoldalúságát jellemzi, hogy az állványra az 5,56 mm-es géppuskától a 40 mm-es gránátvetőig sokféle fegyver felszerelhető. A fegyveráll- vány – természetesen korábban betáplált adatok alapján – felismeri a felszerelt fegyver típusát, amelyhez beállítja a parancsnoki figyelő és irányzó műszer ballisztikai adatbá- zisát.

Mindkét Lance torony szerkezete két részre osztható: a belső a hegesztett páncélelemből készült mag, amelynek a belsejében a parancsnok és az irányzó foglal helyet, vala- mint a tűzvezető rendszerek, és a külső, kompozit páncéllal ellátott rész, amely a torony külső felületét alkotja. A két rész között helyezkedik el a párhuzamosított géppuska, illetve annak, és a fő fegyverzetnek a lőszerkészlete. A szeparálás lehetővé teszi, hogy esetleges nem áthatoló találat esetén, a felrobbanó lőszerkészlet nem okoz kárt a jármű kezelőszé- mélyzetében. A Lance 1.0 torony esetében a két adogatósín egymás mögött kapott helyet, és a toronymag külső felüle- tén körbe futva helyezkedik el. A nagyobb, Lance 2.0 torony esetében a bal oldalon hátra futó sínek a torony hátuljában egy, a Puma harcjárműben alkalmazott csigavonalú tároló- ban végződnek, ebbe kerülnek málházásra a lőszer- ek. A párhuzamosított géppuska lőszerkészlete ekkor a torony jobb oldalán fut végig.

(Folytatjuk)

JEGYZETEK

- 10 Motoren- und Turbinen-Union.
- 11 Commercial Off The Shelf.
- 12 Auxiliary Power Unit – kisegítő áramforrás.
- 13 WTD-41 teszt-pálya Trierben.
- 14 NATO Generic Vehicle Architecture – NATO közös jármű architektúra.
- 15 <https://www.theverge.com/2019/8/11/20800111/us-navy-uss-john-s-mccain-crash-ntsb-report-touchscreen-mechanical-controls>.
- 16 Modular Turret System – Moduláris toronyrendszer.
- 17 Air Burst Munitions – levegőben detonáló lőszer.
- 18 Advanced Hit Efficiency and Destruction – fejlett találati és megsemmisítési hatékonyság.
- 19 Armour Piercing Fin Stabilised Discarding Sabot Traced.
- 20 Frangible Armour Piercing Incendiary Discarding Sabot Traced.
- 21 Semi-Armour Piercing High Explosive Incendiary Traced.
- 22 Kinetic Energy Time Fused.
- 23 Penetrator with Enhanced Lateral Effect.
- 24 Training Projectile Frangible Discarding Sabot Traced.
- 25 Training Practice Traced.
- 26 Human Machine Interface – Kezelőszervek, beviteli eszközök.
- 27 Main Sensor Slaved Armament.

(Illusztrációk a szerző gyűjteményéből)



Dr. Taksás Balázs*

Újjászülető hadiipar

Miközben a hadiipar alapvető feladata, hogy tervezett időre, tervezett költségből, tervezett képességgű fegyvert, fegyverrendszert adjon a haderők kezébe, működését mindig a nemzetközi politikai, gazdasági és technológiai környezet alakulása határozta meg. A XXI. században azonban mind a három dimenzióban olyan dinamikus mértékű változások zajlanak, amelyek alapvetően újra formálják az általunk eddig ismert hadiipart. A politikai szférában bipolárisból egypólusúvá, majd egyre inkább sokpólusúvá válik a világ. Olyan új, forradalmi technológiák megjelenése, mint pl. a digitalizáció, automatizáció, biotechnológia, mesterséges intelligencia stb., a gazdasági térben a globalizáció során transznacionalizálódott értékláncok, majd ezek fokozódó sérülékenysége, s az új technológiák nyomán megszülető új iparágak és vállalati struktúrák mind-mind olyan hatást gyakorolnak a hadiiparra, amelynek megértése kiemelkedően fontos a hazai védelmi szektor számára is. A tanulmány témáját az azok alapvető gazdasági összefüggések adják, amelyek bázisát képezik a nemzetközi hadiipar működésének.

ÁTALAKULÓ HADIIPAR

A köztudatban és a sajtóban elterjedt „hadiipar” és „védelmi ipar” a statisztikai rendszerezés alapján nem létezik. A hadiipar tulajdonképpen különböző ipari és szolgáltató tevékenységek összessége, amely szorosan összefonódik olyan kutató és fejlesztő intézményekkel, ipari és szolgáltató társaságokkal is, amelyek nem csak a haderőket szolgálják [2]. Ez az összefonódás a technológia fejlődésével és a gazdaság átalakulásával egyre erősebb lesz, és egyre inkább elmosódik a határvonal a civil és a hadiipari vállalatok között [3].

A 4. ipari forradalom¹ [1] során megjelenő technológiáknak (mint pl. a digitalizáció, gépi tanulás, gépi autonómia, biotechnológia stb.) három nagyon fontos jellemzőjük van. Az első, hogy kutatásukban és a területükön született innovációkban, valamint azok felhasználásában a civil szektorok lényegesen előrébb járnak a klasszikus hadiipari cégeknel. A mesterséges intelligenciákra vagy az önvezető technológiák kutatására pl. a magáncégek egy év alatt többet köl-

ÖSSZEFOGLALÁS: Magyarországon komoly szándék figyelhető meg a hadiipar erőteljes fejlesztése érdekében. A szerző ennek a lehetséges irányait tárja fel úgy, hogy elemzi azokat a fő hajtóerőket, amelyek az iparág XXI. századi transzformációját eredményezik. A tanulmány, az átalakuló hadiipari struktúra mellett, szól a hadiiparral szemben támasztott legfontosabb követelményekről is: a technológiai színvonalról, a versenyképességről és az ellátásbiztonságról. Mindezeket összefoglalva pedig bemutatja, hogy milyen ösvényeken indulhat el a hazai hadiipar sikeres fejlődése.

KULCSSZAVAK: hadiipar, gazdaság, technológia, versenyképesség, ellátásbiztonság

ABSTRACT: Hungary has a strong intention to develop its own defense industry. For achieving success, we need to understand the global political, technological, and economic environment of this industry. Analyzing the main global economic factors which are transforming the structure of the XXIst century's defense industry, this article presents the most important requirements towards the functioning of it: technological level, competitiveness, and security of supply. In the end, the article describes some possible paths for the developing Hungarian defense industry.

KEY WORDS: defense industry, economy, technology, competitiveness, security of supply

* Százados, PhD egyetemi docens. NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Hadtáp, Pénzügyi és Katonai Közlekedési Tanszék.
ORCID: 0000-0001-7583-4198



tenek, mint az állami szervezetek, valamint a hozzájuk közel álló hadiipari szereplők összesen [4]. A második közös tulajdonságuk, hogy ezen új technológiák fejlesztése, és az átütő innovációk elérése a korábbi időszakok kulcstechnológiáihoz (a gőzenergiától a műanyagot át a nukleáris energiáig) képest relatíve olcsó. Ebből adódóan viszonylag kisebb méretű, vagy újonnan induló (startup) cégek is könnyen kiemelkedő innovációk letéteményesei lehetnek. A harmadik lényeges tulajdonság az előző kettőből következik. Az új technológiák elterjedését (prolifációját) – éppen amiatt, mert alapvetően „civil” magáncégek birtokában vannak, és fejlesztésük költséghatékony – sokkal nehezebb megakadályozni, mint a tömegpusztító fegyverek esetében, amelyek a XX. század második felében a hadviselés csúcspontjának számítottak (és részben annak tekinthetők ma is).

Az előzőekből következik, hogy napjainkban a korábbiól teljesen eltérő módon kell értékelnünk a hadiipar szereplőit és termékeit. Ugyanis a XXI. század hadviselésében már olyan komplex platformokat és hálózatba kötött – egyre inkább autonóm – rendszereket alkalmaznak, amelyek esetében a hardvernél fontosabb lesz a szoftver, és ezen szoftverek fejlesztését és adaptálását korábban civilnek, hadiiparon kívüli szereplőnek tekintett cégek végzik. (Mind-ezek figyelembevételével érthető az Amerikai Egyesült Államok kormányzatának döntése, amely szerint az USA mesterséges intelligenciához kötődő, műholdas helymeghatározó és hasonló új technológiák exportjára a fegyverexportnak megfelelő korlátozásokat és engedélyezési procedúrákat vezet be [5].) A SIPRI² adatait vizsgálva figyelemre méltó, hogy a hadiipari cégek listáját még mindig a Lockheed Martin, a Boeing, a Northrop Grumman, a Raytheon Company, az Aviation Industry Corporation of China, a General Dynamics, a BAE Systems és China North Industries Group vezeti. Elgondolkodtató, hogy nem szerepel a listán pl. a Microsoft (amely 2019-ben nyert el egy 10 milliárd dolláros üzletet az USA Védelmi Minisztériumától [6]), a Google (amelynek hozzájárulása mind az amerikai haderő mesterséges intelligenciát kutató és használó programjaihoz, mind a kínai arcfelismerő rendszerek működéséhez felmerült [7, 8]), a Huawei, az Alibaba (amelynek a kínai nagy kreditálapú társadalom rendszerének fejlesztésében fontos szerepe van [9]), az Amazon (amely éppen a Microsofttal szemben maradt alul az utóbbi idők egyik legnagyobb katonai beszerzésében), vagy éppen az Uber (amely elszívta az önvezető autókkal foglalkozó állami kutatólabor szinte összes munkatársát az USA-

ban, és hasonló rendszereket fejleszt majd az amerikai haderő számára is). Valószínűleg előbb-utóbb ezen óriás cégeket, valamint sok kisebb társukat is láthatjuk majd a hadiipari listákon. Természetesen – a korábban említettek miatt – egyre nehezebb lesz elkülöníteni, hogy melyik vállalkozás tekinthető hadiipari szereplőnek és melyik nem, de az biztos, hogy egy új struktúra megszületésének vagyunk tanúi, ahol már nem végtermékekben („vasban”), hanem rendszerekben kell gondolkodni.

TÁRSADALMI ELVÁRÁSOK A HADIIPARRAL SZEMBEN

A hadiiparral szemben alapvetően három elvárás fogalmazható meg: a technológiai színvonal, a versenyképesség és az ellátásbiztonság. Ezeket az elvárásokat szoktuk a hadiipar 3 meghatározó tényezőjének is nevezni [10], mivel mind a három jellemző egyformán fontos a vásárló haderő számára.

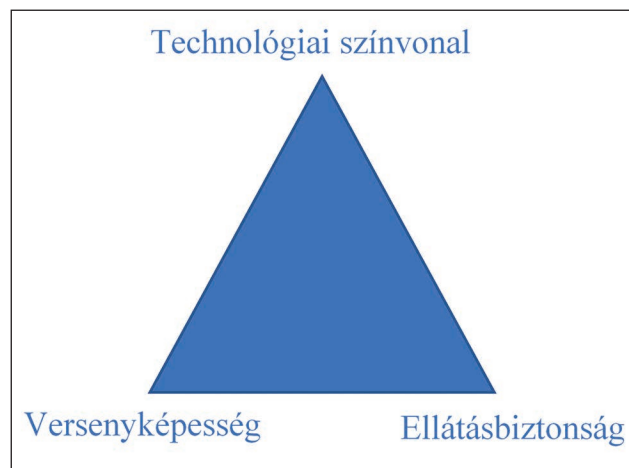
A technológiai színvonal azt jelenti, hogy az előállított eszköznek, szolgáltatásnak meg kell felelnie a kor hadviselési színvonalának. Ellenkező esetben az alkalmazó haderő nem lesz képes a harc sikeres megvívására. Az elavulás megelőzése érdekében az eszköz folyamatos fejleszthetősége is komoly követelmény. A technológiai fejlődés egyre gyorsul, és a létrejövő új termékek és szolgáltatások újabb és újabb képességek elérését teszik lehetővé. Mindeközben azonban a haderők által rendszeresített platformok és fegyverrendszerek alkalmazási időtartama meglehetősen hosszú. Amennyiben tehát ezekben a rendszerekben az eszközöket nem lehet folyamatosan korszerűsíteni – azaz megtölteni az újonnan megszülető technológiai tudással –, úgy alkalmazásuk hatékonysága folyamatosan csökken, és ezzel párhuzamosan a haderő ütközésképesége folyamatosan gyengül. A jó haditechnikai eszköz tehát könnyen, jól és gazdaságosan fejleszthető. A jelenlegi platformok és rendszerek számos cég együttműködésével jönnek létre, (ahol a klasszikus nagy hadiipari cégek jellemzően rendszerintegrátorként jelennek meg), ezért a sikeres hadiipar legfontosabb alapja egy olyan versenyképes gazdaság minden szükséges ipari és szolgáltatói szektorral, amely folyamatosan képes a legújabb technológiai vívmányok hadiipari komponensé alakítására. Versenyképes és innovációban élenjáró gazdaság nélkül tehát nincsen jó hadiipar [10].

A hadiiparnak, valamint termékeinek is versenyképesnek kell lennie. Egyrészt az adófizetőknek nem mindegy, hogy

2. ábra. Amerikai F-35-ös pilótafülkéje egy török légi bemutatón. Még a világ legfejlettebb gazdaságának is problémát okoz a tiltó listára tett török beszállítók pótlása [12]



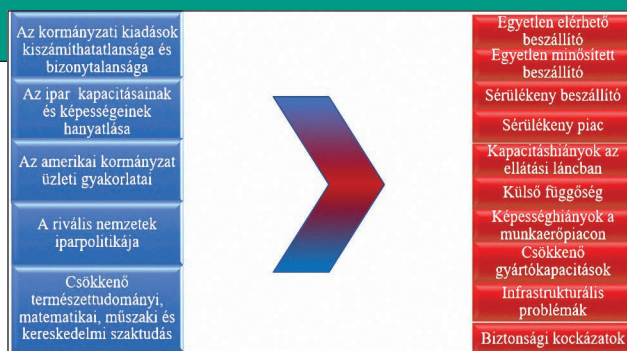
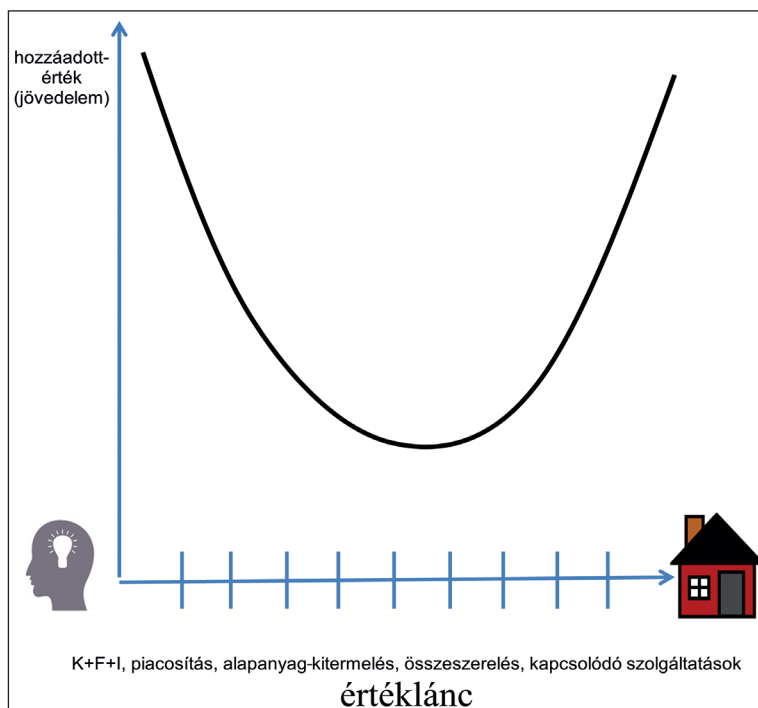
3. ábra. A hadiipart meghatározó három alaptényező
(Forrás: szerzői szerkesztés a [10] alapján)



milyen áron jutnak védelmi szolgáltatásokhoz. Amennyiben egy ország hadiipara nem versenyképes, azaz a többiekhez képest drágábban állítja elő termékeit, szolgáltatásait, úgy vagy kevesebb eszközt, illetve terméket képes vásárolni – ebben az esetben a védelmi szintje acsonyabb lesz –, vagy ha ugyanolyan képességet alakít ki, akkor az sokkal többbe fog kerülni, és kevesebb támogatás marad más fontos területekre (mint például oktatás, egészségügy, közösségi közlekedés stb.). A harmadik lehetőség, hogy az állam – más országokhoz képest – több jövedelmet von el adó formájában a gazdasági szereplőktől, és ebből fedezi a drágább haditechnikai eszközök beszerzését. Jól látható, hogy a nem versenyképes hadiipar egyenes következménye az ország biztonságának gyengülése, vagy az adófizetők életszínvonalának csökkenése. A túl drága eszközökre fordított összegek okozta forráshiány rontja a gazdaság és a társadalom versenyképességét, amely azonban hosszú távon – a fentebb leírt okok miatt – gyengíti a hadiipari potenciált. A versenyképesség fontosságát az exportkényszer is alátámasztja. Ugyanis a haditechnikai eszközök rendszerben töltött ideje meglehetősen hosszú, ezért a gyártási, valamint fejlesztési kapacitások fenntartására nem elegendők a hazai beszerzések, hanem szükség van exportmegrendelésekre is. Így bár a védelmi beszerzések esetében mindig jelentős szerepet játszik a politika, a tartós exportpiac kialakításához szükséges, hogy a hadiipar versenyképes áron kínáljon megfelelő technológiai színvonalú terméket vagy szolgáltatást.

A hadiipartól elvárható harmadik tényező az ellátásbiztonság. Ez azt jelenti, hogy a hadiiparnak képesnek kell lennie arra, hogy eszközeivel és szolgáltatásaival ellássa a haderőt mind békében, mind krízisidőszakokban. Ez egyaránt jelenti a legyártott és értékesített eszközök alkatrészutánpótlását, a fogyó anyagi készletek pótlását, valamint a folyamatos termelőképeség fenntartását. Ez utóbbi különösen háború vagy egyéb fegyveres konfliktus esetén lehet fontos és kritikus. Egy háború esetén ugyanis a felhasznált hadianyagot, a megsemmisült haditechnikai eszközöket

4. ábra. Az értéklánc egyes elemeinek jövedelmezősége



5. ábra. Az amerikai hadiipart meghatározó fő makrotényezők és kockázatok (Forrás: szerzői szerkesztés a [14] alapján)

folyamatosan pótolni kell. Az eszközök komplexitása miatt különböző országokban működő vállalatok vesznek részt a végtermék előállításában, ezért az ellátási lánc sérülékenysége rendkívül magas. Napjainkban a globális értékláncok teljes mértékben transznacionalizálódtak, ráadásul – ahogy azt a 4. ábra is mutatja, – a nyersanyag-kitermelés mellett az összeszerelés az a láncszem, amelynek legkisebb a hozzáadott értéke, s így jövedelemtermelő képessége is. Ezek a tevékenységek leggyakrabban alacsony bérköltséggel, emiatt kevésbé fejlett országokba (pl. Délkelet-Ázsia, Latin-Amerika) szervezik ki azokat.

A hadiiparban a végtermékek összeszerelését megpróbálják hazai földön tartani a különböző országok (az USA-ban például ezt törvény írja elő), azonban a fő komponensek, részegységek, alkatrészek esetében ez már csak részben megoldható. Emiatt a hadiipar külső függősége magas. Ezt a jelenséget jól mutatja, hogy még a világ legnagyobb hadiipara kapcsán is az értékláncok meglete került a vizsgálatok középpontjába. Miután az ötödik generációs F-35-ös vadászpilótaegérről kiderült, hogy kínai alkatrészeket, illetve rendszer elemeket tartalmaz, a külső függőség csökkentése érdekében, az USA elnöke elrendelte a védelmi szektor értékláncainak teljes átvizsgálását. (A közelmúltban került nyilvánosságra, hogy egy kínai tulajdonú brit cég gyárt kulcsfontosságú áramköröket a géphez [11].) A nemzetbiztonsági előírások betartása azonban rendkívül nehéz feladat még az amerikai gazdaság számára is.

A helyzetet jól jellemzi, hogy miután az S-400-as orosz légvédelmi rendszer megvásárlása miatt az amerikaiak kizárták Törökországot az F-35-ös vadászgép fejlesztési programjából, az előállítási láncban lévő török cégek pótlása vonatottan halad [12]. Ugyanez a helyzet a Huawei és a többi, kínai haderőhöz szorosan kapcsolható cég amerikai kormányzati szektorból történő mellőzésével kapcsolatban is [13].

Az 5. ábra jól illusztrálja, hogy az elnök által elrendelt vizsgálat milyen fő megállapításokra jutott az amerikai hadiipar működését veszélyeztető legfontosabb tényezőkkel kapcsolatban [14].

Látható, hogy a makrotényezők közül eredő kockázatok között döntően olyanokat találunk, amelyek kapcsolódnak az értéklánc működésének biztosításához.

A MAGYAR HADIIPAR FEJLESZTÉSÉNEK LEHETSÉGES IRÁNYAI

A magyar hadiipar fejlesztésével foglalkozva, ismét felmerül a hadiipar „szentháromságának” követelménye. A magyar gazdaság világviszonylatban nemcsak kicsi, hanem értékláncait tekintve is rendkívül rövid (ipari bázisunk

jelentős része ugyan high-tech ágazatokhoz kapcsolódik, azonban döntően csak az összeszerelő tevékenység települt hazánkba) [15], ezért kapcsolódása a globális értékláncokhoz kritikus fontosságú. Az előbb vázolt okok miatt hazánk hadiipari ellátásbiztonságának kitettsége jelentősnek mondható.

A hazai hadiipari fejlesztéseknek három célszerű irányba kínálkozik. Az egyik, amikor a hazai ipari és szolgáltatói bázis tudására építve olyan, a hadiiparban használt jelentős értékű komponensek, alrendszerek, szoftverek kifejlesztésére törekszünk, amelyek területükön a világ élvonalaiba tartoznak, s így jó eséllyel a globális hadiipari cégek, a nagy rendszerintegrátorok érdeklődésének középpontjába kerülhetnek. Ebben az esetben bár hangsúlyozottan nem végtermékekről van szó, azonban mégis így kerülhet fel legkönnyebben az ország a hadiipar világtérképére. S minél több olyan sikeres cég működik, amelyik fontos rendszerelemeket szállít be a nagy szereplők számára, annál jobb az ország alkupoziója is egy-egy platform, vagy fegyverrendszer megvásárlása esetén. Emellett ilyenkor magas a nemzetgazdaság fejlődéséhez történő hozzájárulás is, mivel az értéklánc elején található értékes kutatás-fejlesztési, piacosítási tevékenység hazai gazdasági szereplők körében zajlik.

A magyar nemzetgazdaság számára másik lehetőség olyan hadiipari tevékenységek kezdeményezése, amelyek esetében – a hazai gazdaság jelenlegi és jövőbeni potenciális tudását megvizsgálva – valós lehetőség nyílik az értéklánc hazai szakaszának minél jelentősebb kiterjesztésére. Ilyen esetekben, amennyiben az adott tevékenység korábban nem volt megtalálható a hazai gazdaságban, megoldás lehet az alacsony hozzáadott értékű összeszerelési folyamat hazai megvalósításával kezdeni. A keletkező profitot visszaforgatva, folyamatosan fejlődő és bővülő beszállítói hálózattal (klaszterrel), munkaerőpiaci háttérrel, oktatási és kutatási intézményi együttműködéssel (triple helix) tudásfelhalmozás és gazdasági hatékonysági fejlődés érhető el. Így lehetővé válik az értékláncon történő elmozdulás a főbb komponensek gyártása, majd az innováció és fejlesztés irányába, illetve a kapcsolódó szolgáltatások körének fokozatos bővítése felé. Mindenképpen kerülendő azonban, hogy olyan végtermékek összeszerelésébe fektessünk erőforrásokat, amelyek esetében nincs gazdasági realitásokon alapuló lehetőség az értéklánc kiterjesztésére. Ebben az esetben a komponens-beszerzések teljes külföldi függősége kapcsán sem ellátásbiztonságról, sem a folyamatos technológiai modernizáció biztosíthatóságáról, sem versenyképes költségű előállításról nem beszélhetünk. Azaz a hadiipari harmadik egyetlen eleme sem valósul meg.

A harmadik lehetőség hadiiparunk fejlesztésére a tudástranszfer. Ilyen esetben közvetlen külföldi beruházások Magyarországra vonzásával (amely lehet hazai vállalat külföldi felvásárlása, zöldmezős beruházás, illetve vegyesvállalat létrehozása is), vagy hazai gazdasági szereplők külföldi akvizíciója (külföldi vállalat felvásárlása, vagy vegyesvállalat létrehozása külföldön) segítségével olyan civil, vagy hadiipari tudáshoz, technológiához juttatjuk a hazai gazdaságot, amely lehetővé teszi valamilyen modern hadiipari termék, vagy komponens versenyképes előállítását.

Mindhárom esetben kiemelten fontos a védelmi szektor és a civil gazdaság sikeres kooperációja. Ehhez elengedhetetlen, hogy a védelmi szektor megértse a gazdasági szereplők gondolkodását, az üzleti szféra működésének logikáját. Ha ez nem valósul meg, akkor bizonytalanná válhat a civil szereplők együttműködése, vagy ha együtt is működnek, a kooperációnak csak nagyon korlátozott eredményei lesznek. (Korábban szó volt róla, a civil szektorok-

ban születő legmodernebb tudás nélkül kizárt, hogy sikeres legyen a hadiipar.) Nem véletlenül hirdette meg az évtized közepén az USA a harmadik offset stratégiáját, amelynek célja, hogy a civil szektorokban (például a Szilícium-völgy startupjainál) meglévő, a védelmi szektor számára eddig láthatatlan vagy nem hasznosuló tudást védelmi képességekké alakítsa, így növelve folyamatosan csökkenő technológiai előnyét riválisaival szemben [15]. Magyarországon hasonló céllal hozták létre a MH Modernizációs Intézetet.

A konkrét hazai hadiipari fejlesztéseket vizsgálva – bár az információk jellemzően nem nyilvánosak –, a Zrínyi 2026 Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program ezen területén is, s így a valós koncepciókról, üzleti tervekről nincsen tudomásunk, a rendelkezésre álló csekély információ alapján azért a legtöbbjük besorolható a fenti három lehetséges fejlődési irány valamelyikébe.

Igy például a hazai kézfegyvergyártás, amely kapcsán ugyan jelen pillanatban még csak nagyon alacsony hozzáadott értékű összeszerelés folyik cseh licenc alapján, azonban a magyar gazdaság és társadalom tudásbázisát vizsgálva, megfelelően agilis üzleti koncepció és magatartás esetén megnyílhat a tér az értéklánc bővítésére, különösen a kapcsolódó szolgáltatások területén. Az üzem termékpalettájának fejlesztésére már megszülettek a megállapodások (például reaktív páncéltartó gyártása a Dynamit Nobel Defence-szel együttműködve), a főkomponensek előállítására kapcsán pedig alaposabb vizsgálat szükséges, hogy a hazai optikai, műanyag- vagy fémiparban milyen képességek rejtőzhetnek, amelyek az értékláncba történő bevonásukat esetlegesen lehetővé teszik. Komoly fegyvertény az ausztriai bázisú Hirtenberger Defence Systems megvásárlása, ugyanis ez esetben egy technológiailag világszínvonalú, a hadiipari értéklánc legnagyobb hozzáadott értékű elemei, mint a K+F+I, a piacosítás, a kapcsolódó szolgáltatások stb. a magyar gazdasági szereplők kezébe kerülnek. Ez az a tudástranszfer, amelyet a fejlődési lehetőség kapcsán írtunk le, s amely hosszú távon jó eséllyel megtérülő beruházás lehet a magyar gazdaság és kapcsolódóan a magyar honvédelem részére. Szintén a tudástranszfer kategóriájába tartozik, és a nemzetközi hadiipari értékláncokba történő becsatlakozásra adhat lehetőséget az Airbus által Gyulán felépíteni tervezett helikopter-alkatrész gyár, amely a Magyar Állammal közös vegyesvállalat égisze alatt fog működni 2022-től. Egy másik üzlet szintén az űr- és légijármű-iparhoz kapcsolódik. Magyar befektetők tulajdonrészt szereztek a nagy múltra visszatekintő cseh Aero Vodochody cégben, amely egykor a Varsói Szerződés Szovjetunió kívüli legjelentősebb repülőgépgyártója volt, és olyan Magyarországon is jól ismert géptípusok kötődnek a nevéhez, mint az L-39 Albatros gyakorló-repülőgép. A cég saját termékei mellett része a nemzetközi értékláncoknak is, mert részegységeket szállít be globális repülőgép és helikopter gyártóknak. Mivel a magáncégek közötti vételár nem nyilvános, ezért a befektetés várható üzleti megtérüléséről nehéz fogalmat alkotni, azonban a hazai hadiipar számára egyrészt tudás- és technológiatranszferként szolgálhat a vásárlás, másrésztől közép-, illetve még inkább hosszú távon lehetőséget biztosíthat arra, hogy hazai szakemberek és hazai beszállítók bekapcsolódhassanak a légijármű-ipar tevékenységébe. Ez további tudástranszfer és értéktérmet jelenthet a hazai gazdaság és védelmi szféra számára.

Szintén jelentős tudástranszfer-potenciál van a német Rheinmetall-lal kötött együttműködésben, amely alapján a magyarországi leányvállalatnál nemcsak a modern Lynx gyalogsági harcjárművek összeszerelése zajlik majd,

hanem a Zalaringhez kapcsolódóan kutatás-fejlesztési tevékenység is. Ez azért kiemelkedően fontos lehetőség, mert ugyan az összeszerelendő járművek hosszú távú külföldi eladhatóságában sok a kérdőjel (ugyanis az export a célja a cég németországi és ausztráliai gyártási központjának is), azonban a gyártási, és még inkább a kutatás-fejlesztési tevékenység hazai fázisában olyan tudásra tehet szert a magyar gazdaság, amelynek hozzájárulása Magyarország hosszú távú biztonságához kiemelkedő jelentőségű lehet.

ÖSSZEGZÉS

A világ hadiipara erőteljesen átalakulóban van. Az új technológiai egyre gyorsabb megjelenése és felfutása, az új gazdasági ökoszisztémák kialakulása az egyébként lassan reagáló és változó hadiipart is átformálják. Új szereplők jelennek meg, és lesznek várhatóan egyre jelentősebbek. Mindeközben azonban a hadiipar szerepe nem változik. Olyan eszközöket, rendszereket kell előállítani, amelyek betöltik a velük szemben támasztott hármas követelményt: legyenek technológiailag magas színvonalúak, legyen az áruk versenyképes, és krízishelyzet esetén legyen mögöttük ellátásbiztonság. Átalakuló világunkban, ahol a nemzetgazdaságok kölcsönös függősége növekszik, egyre nehezebb e három elvárásnak egyszerre megfelelni.

A hazai hadiipar fejlesztése során e három kritériumot kell szem előtt tartani, mert csak így építhető fel olyan struktúra, amely hosszú távon képes lesz a hazai védelmi szektort és a hazai gazdaságot szolgálni. A tanulmányban három olyan fő elképzelés alapjait fogalmaztuk meg, amelyek segíthetnek a fejlesztési célok megvalósításában.

FORRÁSOK

- [1] David W. Barno, Nora Bensahel, „War in the Fourth Industrial Revolution” *War on the Rocks* 2018.06.19. Letöltve: 2020. 07. 15. <https://warontherocks.com/2018/06/war-in-the-fourth-industrial-revolution/>;
- [2] Simai Mihály, „A korszerű haderőfejlesztés nemzetközi tendenciái. 2. rész.” *Hadtudomány* 22 (1–2): 4–18. Letöltve: 2020. 07. 15. http://mht.eu/hadtudomany/2011/4/HT_2011_4_3.pdf;
- [3] Taksás Balázs, „Trinity of Defense Industry” *Economic and Management* 2019/1. 70–76. Letöltve: 2020. 07. 15. <https://www.unob.cz/en/Eam/Documents/Eam%201-2019.pdf>;
- [4] „We can’t compete’: why universities are losing their best AI scientists” *The Guardian* 2017. 01. 01. Letöltve: 2020. 07. 15. <https://www.theguardian.com/science/2017/nov/01/cant-compete-universities-losing-best-ai-scientists>;
- [5] James Politi, „US proposes new export controls on satellite imagery software” *Financial Times* 2020. 01. 03. Letöltve: 2020. 07. 15. <https://www.ft.com/content/2c07e5b0-2e5d-11ea-a126-99756bd8f45e>;
- [6] Kate Conger, David E. Sanger and Scott Shane, „Microsoft Wins Pentagon’s \$10 Billion JEDI Contract, Thwarting Amazon” *The New York Times* 2019.10.25. Letöltve: 2020. 07. 15. <https://www.nytimes.com/2019/10/25/technology/dod-jedi-contract.html>;
- [7] Aaron Mehta, „Dunford to meet with Google for ‘debate’ on Chinese ties” *Defense News* 2019. 03. 21.

- Letöltve: 2020. 07.15. <https://www.defensenews.com/smr/cultural-clash/2019/03/21/dunford-to-meet-with-google-for-debate-on-chinese-ties/>;
- [8] Jill Aitoro, „Forget Project Maven. Here are a couple other DoD projects Google is working on” *C4ISRNET* 2019. 03. 13. Letöltve: 2020. 07. 15. <https://www.c4isrnet.com/it-networks/2019/03/13/forget-project-maven-here-are-a-couple-other-dod-projects-google-is-working-on/>;
- [9] John Gapper, „Alibaba’s social credit rating is a risky game” *Financial Times* 2018. 02. 21. Letöltve: 2020. 07. 15. <https://www.ft.com/content/99165d7a-1646-11e8-9376-4a6390addb44>;
- [10] Taksás Balázs, „A hadiipar fejlesztésének feltételei és működésének követelményei” *Honvédségi Szemle* 2020/2 125–135. <http://doi.org/10.35926/HSZ.2020.2.12>;
- [11] Deborah Haynes, „F-35 jets: Chinese-owned company making parts for top-secret UK-US fighters” *Sky News* 2019. 06. 15. Letöltve: 2020. 07. 15. <https://news.sky.com/story/f-35-jets-chinese-owned-company-making-parts-for-top-secret-uk-us-fighters-11741889>;
- [12] Joe Gould, „Stop buying Turkey’s F-35 parts, lawmakers tell DoD” *Defense News* 2019. 07. 07. Letöltve: 2020. 07. 15. https://www.defensenews.com/congress/2020/07/07/stop-buying-turkeys-f-35-parts-already-lawmakers-tell-dod/?utm_source=clavis;
- [13] Joe Gould, „US government’s Huawei ban moving too fast, contractors say” *Defense News* 2019. 07. 10. Letöltve: 2020. 07. 15. <https://www.defensenews.com/congress/2020/07/09/us-governments-huawei-ban-is-too-fast-contractors-say/>;
- [14] „Assessing and Strengthening the Manufacturing and Defense Industrial Base and Supply Chain Resiliency of the United States” *Report to President Donald J. Trump by the Interagency Task Force in Fulfillment of Executive Order 13806*;
- [15] „Domestic value added in gross exports” *OECD Data* Letöltve: 2020. 07. 15. <https://data.oecd.org/trade/domestic-value-added-in-gross-exports.htm>;
- [16] Eric P. Hillner, „The Third Offset Strategy and the Army modernization priorities” *Center for Army Lessons Learned* Letöltve: 2020. 07. 15. <https://usacac.army.mil/sites/default/files/publications/17855.pdf>.

JEGYZETEK

- 1 Az első ipari forradalom a 18. században a gőzenergia használatba vételével kezdődött.
A második ipari forradalom a 19. században kezdődött az elektromosság és a gyártósorokkal felgyorsított termelés beindításával, amely korszak Henry Ford nevéhez köthető.
A harmadik ipari forradalom a 20. század ’70-es éveiben kezdődött a programozható memóriájú vezérlőkkel és számítógépekkel megvalósított részleges automatizáció révén.
Jelenleg a negyedik ipari forradalom valósul meg a szemünk előtt. Ez az információs és kommunikációs technológiák ipari alkalmazását jelenti, és sokszor „Ipar 4.0”-ként is emlegetik.
Forrás: <http://mle.hu/ipari-forradalmak-az-ipar-1-0-bol-az-ipar-4-0-ba-vezeto-ut/>.
- 2 SIPRI: Stockholm International Peace Research Institute.
A legnevesebb globális biztonsággal, hadiiparral és haditechnikai kereskedelemmel foglalkozó kutatóintézet.

(Illusztrációk a szerző gyűjteményéből)

Az RDC III dozimetriai rendszer alkalmazhatóságának vizsgálata, 20 évvel a modernizálása után

II. rész

A cikk előző részében röviden összefoglaltam az RDC III rendszer eredeti, valamint felújítás utáni képességeit. Az akkori Haditechnikai Intézet munkatársaként én voltam a téma felelőse az első részben ismertetett modernizációs projektnek. Mintegy 20 év elteltével azért ébredt fel bennem a szakmai kíváncsiság, hogy ellenőrizsem, vajon milyen állapotban lehetnek most ezek az eszközök. Így, a Gamma Műszaki Zrt. bázisán és munkatársainak segítőkész közreműködésével megvizsgáltam a Magyar Honvédség Logisztikai Központ által rendelkezésemre bocsátott 4 db RDC III AGM készüléket (készletet) az ugyancsak tőlük kapott 400 db RDC III D doziméter felhasználásával. A tanulmány második része a 2020-ban végrehajtott vizsgálatokról, azok eredményeiről, illetve az eredményekből levonható következtetésekről szól.

Az RDC III AG készülék első három példányának elkészülését a haditechnikai ellenőrző vizsgálatok és a csapatpróba követte. A csapatpróbára bocsátás elengedhetetlen feltételeként, laboratóriumi körülmények között sikeresen végrehajtottuk a metrológiai, mechanikai igénybevételi stb. követelményeknek való megfelelés ellenőrzését.

Az RDC Rendszer 2020-ban végrehajtott vizsgálatai

A vizsgálatok megtervezéséhez, illetve végrehajtásához az eszköz Technológiai Utasításában (a továbbiakban: TU) [1] leírtakat vettem alapul. Az abban megfogalmazottak értelmében a műszer paramétereinek ellenőrzését az alábbi referencia-feltételek mellett végeztem:

- környezeti hőmérséklet: 23 ± 2 °C,
- relatív páratartalom: 45% – 80%,
- légnyomás: 860–1060 hPa,
- névleges tápfeszültség: $24 \pm 0,2$ V,
- a doziméterek besugárzására használt sugártér bizonytalansága kisebb volt 5%-nál.

A klimatikai feltételek teljesülését a vizsgálatok során a követelményeknek megfelelően biztosítottam, illetve ellenőriztem. A Budapest Főváros Kormányhivatala Metrológiai és Műszaki Felügyeleti Osztály által 2020. 02. 03-án kiállított Kalibrálási Bizonyítvány alapján az alkalmazott besugárzó megfelelt a követelménynek.

Az elvégzendő vizsgálatok három csoportra oszthatók:

- mérés technikai jellegű,
- mechanikai jellegű,
- szoftverek ellenőrzésére vonatkozó vizsgálatok.

A fejlesztési folyamat során valamennyi vizsgálatot maradéktalanul elvégeztem, azonban jelentős részük megismétlése a tárolási feltételek teljesülése miatt nem látszott szükségesnek.

MÉRÉSTECHNIKAI VIZSGÁLATOK

A vizsgálatokat az eszközök bekapcsolásával, majd „Kalibrálás” üzemmódba állítással kezdtem. Mind a négy eszköz előírás szerűen kezelhető volt, a megfelelő időben a megfelelő hangjelzéseket adta és a kijelzőkön is az előírt információk voltak olvashatók. Mindössze annyi eltérést tapasztaltam, hogy a műszerek belső órái néhány perccel eltértek a pontos időtől, ezért a beállító szoftver segítségével átállítottam az órákat. Ezzel egyúttal arról is meggyőződhettem, hogy a beállító szoftver működik, illetve annak futtatásakor megfelelően reagálnak a műszerek.

A vizsgálatokat az ellenőrző készletben található „LSS1–LSS7” jelű „etalonok” alkalmazásával folytattam. Az ellenőrző készletbe tartozó „rdcel” program segítségével kiszámoltam az „LSS2–LSS4” jelű „etalonok” aktuális értékét. (Ezekben az „etalonokban” trícium található, tehát a fénycserejük folyamatosan csökken.) A kiszámolt értékekhez hozzáadtam a maximálisan megengedett $\pm 10\%$ -os hiba-

1. táblázat. Az ellenőrző készlet etalonjaival végzett vizsgálatok eredményei

Etalon (fényforrás)	Előírt kijelzés	1. műszer	2. műszer	3. műszer	4. műszer
LSS1	max. 400 μ Gy	< 100 μ Gy	< 100 μ Gy	< 100 μ Gy	< 100 μ Gy
LSS2	13,1...16,1 mGy	20,2 mGy	19,1 mGy	26,0 mGy	26,7 mGy
LSS3	160...196 mGy	230 mGy	221 mGy	302 mGy	309 mGy
LSS4	482...589 mGy	744 mGy	716 mGy	977 mGy	997 mGy
LSS5	700 ... 1300 Gy	~912 Gy	~668 Gy	~1,2 kGy	~976 Gy
LSS6	„Doziméter hiba!”	„Doziméter hiba!”	„Doziméter hiba!”	„Doziméter hiba!”	„Doziméter hiba!”
LSS7	< 100 μ Gy	< 100 μ Gy	< 100 μ Gy	< 100 μ Gy	< 100 μ Gy

* Nyá. ezredes. ORCID: 0000–0001–9598–1187

határokat. Az 1. táblázat második oszlopa az így számított intervallumokat tartalmazza.

Megállapítások: Mind a négy műszer az előírásoknak megfelelően felismerte az „etalonokat”, és ezt ki is jelezte. Az „LSS2...LSS4” jelű „etalonok” kivételével valamennyi esetben az elvárt információk jelentek meg a műszerek kijelzőjén. A tríciumot tartalmazó „etalonok” esetében mindegyik műszer többet mutatott az előírt értéknél. Ez meglepett, hiszen a trícium bomlásából adódóan inkább kisebb értékeket kellett volna kapnom. Úgy vélem, hogy az okok a trícium bomlási állandójának korrekciós értékeiben (tehát az „rdcell” programban) keresendők. Ezzel a problémával most nem foglalkoztam, mivel elsősorban az RDC III rendszer alkalmazhatóságára voltam kíváncsi, nem pedig arra, hogy az egyébként másodlagos funkcionális „ellenőrző készlet” egyes elemei miként használhatóak.

A további vizsgálatokkal elsősorban az eszközrendszer pontosságát, reprodukáló képességét, linearitását, illetve méréshatárait kívántam ellenőrizni. Abból a tapasztalatokkal is alátámasztott – feltételezésből indultam ki, hogy a mangánnal adalékolt kristályos kalciumfluorid ($\text{CaF}_2\text{:Mn}$) stabil vegyület, annak öregedését csak a kifutések száma (200 fölötti) befolyásolhatja negatívan.

A 4 db százaz csomagból véletlenszerűen kiválasztott 15-15 db (összesen 60 db) dozimétert használtam a vizsgálatokhoz. Első lépésként mindegyiket kinyitottam és multiméterrel megmértem a fűtőszálak ellenállását. Az értékek 9,3–11,3 Ω között szóródtak, így megfeleltek a TUBAN megengedett ellenállás-tartománynak, amely érték: 7–12 Ω . Miután ilyen módon megbizonyosodtam kiértékelhetőségükről, valamennyi dozimétert kifutottam a használaton kívül összegyűjtött dózisok „kitörlése” érdekében. A kifutást rövid idővel később megismételttem annak érdekében, hogy a TL anyag energiacsapdái még hatékonyabban kiürüljenek. Ezt, a rövid időn belüli újbóli kifutást azért is fontosnak tartottam, mert így a doziméterek esetleges fűtőszálhibái nagyobb valószínűséggel jelentkezhetnek.

A műszerek kalibrációs rendszerének beszabályozásával nem foglalkoztam, mivel vizsgálataim célja annak megállapítása volt, hogy az évekig raktárakban – mindenféle metrológiai ellenőrzés, újrakalibrálás nélkül – tárolt eszközök most miként teljesítik az előírt követelményeket.

A további vizsgálatokhoz a besugárzásokat összesen hét névleges dózissal ($D_{\text{névl}}$) végeztem:

- A dózismérés reprodukálhatóságának meghatározásához: 50 mGy.
- Az alsó kijelzési tartomány vizsgálatához: 200 μGy .
- Az alsó méréshatár vizsgálatához: 500 μGy .
- A mérési tartomány köztes értékeinek vizsgálatához: 5 mGy; 500 mGy; 6 Gy.
- A felső méréshatár, illetve a felső kijelzési tartomány vizsgálatához: 10 Gy.
- Egyéb vizsgálatokhoz (ahol besugárzásra volt szükség): 50 mGy.

6. ábra. A kiolvasó eszközök a laboratóriumban



A besugárzás-kiolvasás ciklust 15-15 db doziméterrel megismételttem mind a 4 kiolvasó esetében. Az f) vizsgálat kivételével a kiolvasókhoz ugyanazt a 15-15 dozimétert használtam.

a) A dózismérés reprodukálhatóságának meghatározása

A 4×15 db dozimétert besugároztam ($D_{\text{névl}} = 50$ mGy), majd kiolvastam. Ezt még kétszer megismételttem, majd mind a négy műszer esetében meghatároztam a kiolvasott értékek átlagát mérési sorozatonként, és az összes kiolvasásra:

$$K_{0n} = \sum_{i=1}^{15} \frac{K_i}{15} \text{ és } K_0 = \sum_{n=1}^3 \sum_{i=1}^{15} \frac{K_i}{45},$$

ahol

$n = 1, 2, 3$,

K_i – a vizsgálat során leolvasott egyes értékek,

K_{0n} – a leolvasott értékek átlaga az $n = 1.; 2.; 3.$ mérési sorozatban,

K_0 – a leolvasott értékek átlaga.

A fenti értékekből határoztam meg a dózismérés reprodukálhatóságát:

$$h_m [\%] = \frac{K_{0n} - K_0}{K_0} \cdot 100,$$

ahol

h_m – az egyes mérési sorozatok reprodukálhatóságából adódó mérési bizonytalanság.

A vizsgálatok során a dózismérés reprodukálhatóságának (h_r) a legnagyobb abszolút értékű h_m -t tekintem. Az eredményeket a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat. A $D_{\text{névl}} = 50$ mGy-hez tartozó mérési eredmények átlagai, eltéréseik a névleges értéktől (δ), valamint az egyes műszerek maximális mérési bizonytalansága (h_r)

A műszer sorszáma	K_{01} [mGy]	K_{02} [mGy]	K_{03} [mGy]	K_0 [mGy]	δ [%]	h_r [%]
1.	43,2	42,0	42,0	42,4	-15,2	1,89
2.	46,2	44,5	45,6	45,4	-9,2	1,98
3.	52,5	51,6	51,4	51,8	+3,6	1,35
4.	54,4	54,4	53,6	54,1	+8,2	0,92

A táblázatból kitűnik, hogy az egyes műszerek mérési bizonytalanságának százalékos aránya és önmagukhoz képesti reprodukáló képessége nagyon jó! Azonban az is kiolvasható a táblázatból, hogy a névleges értékhez képest az egyes műszerek nagyon eltérően mérnek. Az 1. számú készülék esetében 22 darab érték esetében volt $\pm 15\%$ -nál nagyobb az eltérés a 60 mérésből. Ezek az eltérések szignifikánsnak mondhatók, azonban a műszerek kalibrációs rendszerének ismételt beszabályozása révén könnyen kiküszöbölhetők. Az „aluméró” műszerek esetében az is lehetséges, hogy a fotoelektron-sokszorozó „ablaka” szennyeződött el, tehát a korrekciót mindenképpen annak tisztításával érdemes kezdeni.

A mérési tartomány ellenőrzése során – a TU előírásainak megfelelően – a készülékek relatív alaphibáját (h) az alábbi képletek alapján határoztam meg:

$$K_{0n} = \sum_{i=1}^{15} \frac{K_i}{15}, \text{ és } h [\%] = \frac{K_{0n} - D_{\text{névl}}}{D_{\text{névl}}} \cdot 100$$

A készülékek a mérési tartományra és a relatív alaphibára vonatkozó követelményt akkor elégítik ki, ha

$$h \leq \pm h_0 \pm E + h_p$$



ahol

h_0 – az eszköz adott tartományára vonatkozó alaphiba,

E – a sugárter bizonytalansága ($\pm 5\%$),

h_r – a reprodukáló képességből adódó mérési bizonytalanság (ld. 2. táblázat utolsó oszlopa).

b) Az alsó kijelzési tartomány vizsgálata

A 4x15 db dozimétert besugároztam ($D_{névl} = 200 \mu\text{Gy}$), majd kiolvastam. A mérési eredményeket a 3. táblázat tartalmazza. Az eszköz a kijelzési tartományban, tehát a 100–400 μGy közötti értékek elé „~” jelet ír, a kijelzési tartomány alatti értékek esetében „<100” jelenik meg a kijelzőn. Ebben a tartományban a megengedett maximális hiba: $\pm 25\%$, ami ebben a mérési sorozatban 150–250 μGy -t jelent. A dózistér hibájával, illetve a h_r értékekkel korrigált értékek ennél lényegesen nagyobbak. Ezeket, valamint az ezekből számolt intervallumokat (h_i) tüntettem fel a 3–8. táblázatok utolsó két oszlopában.

3. táblázat. A $D_{névl} = 200 \mu\text{Gy}$ -hez tartozó mérési eredmények minimum- és maximumértékei, valamint átlagai

A műszer sorszáma	min. [μGy]	max. [μGy]	átl. [μGy]	h [%]	h_i [μGy]
1.	<100	~295	~188	31,89	129–248
2.	<100	~310	~229	31,98	156–302
3.	~172	~311	~252	31,35	173–331
4.	~199	~391	~274	30,92	189–359

Az 1. és 2. műszer 1-1 doziméter esetében 100 μGy alatti értéket jelzett, ami azt jelenti, hogy a „pontos értéket” még $\pm 25\%$ -os hibával sem tudhatjuk. Az átlagszámításnál 100 μGy -el számoltam, amiből az következik, hogy a tényleges átlag a számított átlagnál is alacsonyabb – bár csak néhány ezrelékkel, ami ebben az esetben elhanyagolható. A táblázat adataiból kiolvasható, hogy valamennyi műszer átlaga benne van h_i tartományban. A szórásokat tekintve már némileg rosszabb a helyzet. Az 1. műszer esetében 4 érték lefelé, 3 pedig fölfelé tér el a h_i tartomány határaitól. A 2. műszer esetében 2-2 érték le-, és fölfelé, a 3. műszer esetében lefelé 1, a 4. eszköznél pedig 1 érték fölfelé tér el.

c) Az alsó méréshatár vizsgálata

A 4x15 db dozimétert besugároztam ($D_{névl} = 500 \mu\text{Gy}$), majd kiolvastam. A mérési eredményeket a 4. táblázat tartalmazza. A mérési tartományban a megengedett maximális hiba: $\pm 15\%$, h , illetve h_i értékének kiszámolásához ezt használtam.

4. táblázat. A $D_{névl} = 500 \mu\text{Gy}$ -hez tartozó mérési eredmények minimum- és maximumértékei és átlagai

A műszer sorszáma	min. [μGy]	max. [μGy]	átl. [μGy]	h [%]	h_i [μGy]
1.	392	563	481	21,89	376–586
2.	454	584	530	21,98	414–647
3.	455	675	578	21,35	455–701
4.	545	692	614	20,92	486–742

A táblázat adataiból kiolvasható, hogy valamennyi műszer esetében a mérések átlaga benne van a h_i tartományban. A szórások tekintetében ez esetben sokkal jobb értékek adódtak, mint az előző sorozat estében, nincs kiugró érték. Az átlagtól lényegesen eltérő értékekkel kapcsolat-

ban megfigyeltem, hogy általában ugyanaz a néhány doziméter okozza a kiugró értékeket.

d) A mérési tartomány köztes értékeinek vizsgálata

1. A 4x15 db dozimétert besugároztam ($D_{névl} = 5 \text{ mGy}$), majd kiolvastam. A mérési eredményeket az 5. táblázat tartalmazza. A mérési tartományban a megengedett maximális hiba: $\pm 15\%$, tehát h , illetve h_i értékének kiszámolásához most is ezt használtam.

5. táblázat. A $D_{névl} = 5 \text{ mGy}$ -hez tartozó mérési eredmények minimum- és maximumértékei, valamint átlagai

A műszer sorszáma	min. [mGy]	max. [mGy]	átl. [mGy]	h [%]	h_i [mGy]
1.	3,65	4,96	4,26	21,89	3,33–5,19
2.	3,97	5,22	4,60	21,98	3,59–5,61
3.	4,49	5,88	5,20	21,35	4,09–6,31
4.	4,87	6,47	5,51	20,92	4,36–6,66

Ebben a mérési sorozatban is valamennyi mért érték és az átlagértékek is a h_i intervallumon belül estek.

2. A 4x15 db dozimétert besugároztam ($D_{névl} = 500 \text{ mGy}$), majd kiolvastam. A mérési eredményeket a 6. táblázat tartalmazza.

6. táblázat. A $D_{névl} = 500 \text{ mGy}$ -hez tartozó mérési eredmények minimum- és maximumértékei, valamint átlagai

A műszer sorszáma	min. [mGy]	max. [mGy]	átl. [mGy]	h [%]	h_i [mGy]
1.	333	443	388	21,89	303–473
2.	371	501	443	21,98	386–540
3.	452	562	506	21,35	398–614
4.	497	644	545	20,92	431–659

A táblázat adataiból kiolvasható, hogy valamennyi műszer esetében a mérések átlaga benne van a h_i tartományban. A szórások tekintetében most csak egy kiugró érték volt. Az átlagtól lényegesen eltérő értékekkel kapcsolatban megfigyeltem, hogy általában ugyanaz a néhány doziméter okozza a kiugró értékeket. A 2. műszer esetében most is ugyanaz a doziméter volt hibás, mint két korábbi esetben is. Ennek a doziméternek az értékei mindig az alsó határ közelében voltak, ott azonban jól szórta. Ebből az következik, hogy egy „testreszabott” kiolvasó algoritmussal korrek eredményekre lenne képes.

A többi műszerrel kapcsolatban is megállapítható, hogy a hozzájuk használt doziméterek közül mindig ugyanaz a 2-4 db nyújtja el az egyébként sokkal pontosabb szórás képét.

3. A 4x15 db dozimétert besugároztam ($D_{névl} = 6 \text{ Gy}$), majd kiolvastam. A mérési eredményeket a 7. táblázat tartalmazza.

7. táblázat. A $D_{névl} = 6 \text{ Gy}$ -hez tartozó mérési eredmények minimum- és maximumértékei, valamint átlagai

A műszer sorszáma	min. [mGy]	max. [mGy]	átl. [mGy]	h [%]	h_i [Gy]
1.	4,01	5,53	4,59	21,89	3,58–5,59
2.	4,36	5,72	4,98	21,98	3,88–6,07
3.	4,79	6,85	6,02	21,35	4,73–7,31
4.	5,79	7,09	6,35	20,92	5,02–7,68

Ebben a mérési sorozatban is valamennyi mért érték és az átlagértékek is a h_i intervallumon belül estek.

e) A felső méréshatár, illetve a felső kijelzési tartomány vizsgálata

A 4×15 db dozimétert besugároztam ($D_{név} = 10$ Gy), majd kiolvastam. A mérési eredményeket a 8. táblázat tartalmazza. A mérési tartományban a megengedett maximális hiba: $\pm 15\%$, ami ebben a mérési sorozatban 8,5...11,5 Gy-t jelent. A 10 Gy fölötti értékek esetében a műszerek megengedett alaphibája, $h_0 = +15 \dots -30\%$. Ez utóbbi értéket h_i értékének meghatározásakor nem vettem figyelembe. Mivel a műszerek felső méréshatára 10 Gy, az e fölötti értékek esetében a kijelzőn „~” jel látható a kiírt érték előtt.

8. táblázat. A $D_{név} = 10$ Gy-hez tartozó mérési eredmények minimum-, maximumértékei, valamint átlagai

A műszer sorszáma	min. [mGy]	max. [mGy]	átl. [mGy]	h [%]	h_i [Gy]
1.	6,52	9,04	7,62	21,89	5,95–9,29
2.	6,86	9,55	8,14	21,98	6,35–9,93
3.	8,57	~11,10	9,82	21,35	7,72–11,92
4.	9,09	~12,30	~10,14	20,92	8,02–12,26

Ebben a mérési sorozatban is valamennyi mért érték és az átlagértékek is a h_i intervallumon belül estek.

A fenti mérési sorozatot követően a doziméterek közül véletlenszerűen kiválasztottam 12 db-ot és újabb besugárzás nélkül ismételt kiértékeltem. A kijelzett érték minden alkalommal „<100” volt. Ezzel megbizonyosodhattam arról, hogy a nagy dózissal történt besugárzást és kiolvasást követően sem olvasható ki a doziméterekből kimutatható mennyiségű dózis.

f) Egyéb vizsgálatok

Mivel az egyes műszerekhez az eddigi mérések során ugyanazokat a dozimétereket használtam, célszerűnek látszott megvizsgálni, hogy milyen eredményre vezetne, ha más-más műszerrel végezném el a kiértékelést. Ehhez a 4×15 db dozimétert besugároztam ($D_{név} = 50$ mGy), majd kiolvastam, de nem az addig használt műszerrel. Ez lett a „B” jelű sorozat. Az „A” jelű sorozat értékeit a legelső mérési sorozatok adataiból (K_0) vettem át. A mérési eredményeket a 9. táblázat mutatja. Az első oszlopban a műszerek sorszáma mögött a doziméter-sorozatok száma szerepel.

9. táblázat. A $D_{név} = 50$ µGy-hez tartozó mérési eredmények minimum- és maximumértékei, valamint átlagai más-más műszerekkel kiolvasva

műszer/ doziméter	min. [mGy]	max. [mGy]	átl. [mGy]	eltérés [%]
1. A	35,3	57,5	42,4	-2,1
1. B	36,8	49,6	41,5	
2. A	39,3	51,1	45,4	-4,8
2. B	34,8	50,0	43,2	
3. A	45,8	57,7	51,8	+1,9
3. B	47,0	58,8	52,8	
4. A	48,9	63,9	54,1	+3,3
4. B	51,1	64,5	55,9	

A mérési eredmények azt az előzetes feltételezésemet igazolják, hogy a műszerek által mért eredmények pontossága csak csekély mértékben függnek az általuk kiértékelt doziméterektől. Ez különösen helytállónak tekinthető, ha figyelembe vesszük, hogy a gyártó a doziméterekre $\pm 20\%$ -os alaphibát ad meg.

AZ A–F VIZSGÁLATOKBÓL, ILLETVE AZOK EREDMÉNYEIBŐL LEVONHATÓ ÁLTALÁNOS KÖVETKEZTETÉSEK

Az elvégzett vizsgálatok bebizonyították, hogy a műszerek reprodukáló képessége kielégíti a követelményeket. Vizsgálataim során elsősorban erre voltam kíváncsi, ezért nem a névleges értékekhez hasonlítottam az eredményeket, hanem az átlagokhoz. Azonban arra is egyértelműen fény derült, hogy az eszközök csak önmagukhoz képest mérnek jól, az elméleti értékektől sok esetben az elvárhatónál jobban eltérnek. Ez indokolta teszi a kiolvasók 2–3 évenkénti ellenőrzését, szükség szerinti beállítását.

Az egyes műszerek pontosságával és gyártási idejével, illetve sorozatával nem találtam semmilyen összefüggést. Ebből arra a következtetésre jutottam, hogy az eltérésekért az egyes műszerek egyedi tulajdonságai a felelősek, amelyeket – nagy valószínűséggel – az eszközök átvizsgálásával, kalibrációs rendszerük újra beállításával ki lehet küszöbölni.

A mérések során valamennyi műszer kijelzője kifogástalanul működött: mindig az adott funkciónak, illetve eredménynek (100 µGy alatti értékek esetén: „<100”; 100–400 µGy között, valamint 10 Gy fölött „~”) megfelelő karakterek jelentek meg. A megfelelő gombkombináció segítségével a háttérvilágítás fényereje is szabályozható volt.

Pozitív megállapításokat tudtam tenni a kiolvasók hangjelzési funkciójával kapcsolatban is: a mérések alkalmával mind a négy műszer mindig a beállított riasztási küszöböknek megfelelően adott hangjelzést.

A MECHANIKAI TULAJDONSÁGOK VIZSGÁLATAI

A mechanikai vizsgálatok esetében elsősorban arra voltam kíváncsi, hogy a doziméterek zártóságát biztosító O-gyűrűk milyen állapotban vannak, illetve a kiolvasók esetében a készülék ajtaja miként képes ellátni feladatát. Ezek az eszközök (doziméterek és a kiértékelők eredeti mechanikai konstrukciója) mintegy 35 évesek.

- A doziméterek O-gyűrűinek vizsgálatához véletlenszerűen kiválasztottam 30 db-ot azok közül, amelyeket a fenti vizsgálatok során már többször is használtam. Ezeket a kiolvasó ajtajába helyezve ötvenszer egymás után kinyitottam-becsuktam. Ezt követően 1 méter mély vízbe tettem, majd 1 óra elteltével, kivéve a vízből kinyitottam a dozimétereket, hogy megnézzem, került-e nedvesség a belsejükbe. Nedvesség nyomát egyik doziméter belsejében sem találtam, tehát ez a vizsgálat igazolta az O-gyűrűk állapotával kapcsolatos azon hipotézisemet, amely szerint ezek tömítő képessége még mindig megfelelő.
- A kiolvasók esetében nem tudtam a fentiekhez hasonlóan objektív vizsgálati algoritmust felállítani. Ezért a használhatóságot biztosító ajtórogzítók, rugók, valamint a kihúzótüske alkalmasságát vizsgáltam. Ezeket nem önálló vizsgálatként végeztem, hanem a mérés technikai vizsgálatok során figyeltem meg a működésüket. Kiolvasónként legalább 150 alkalommal került erre sor. Mindegyik készülék ajtaja kifogástalanul működött. A 3. számú műszer esetében azonban azt tapasztaltam, hogy az ajtó

kinyitását nem minden esetben (10-ből 1-2 alkalommal) jelezte a készülék kijelzője. Az ajtó becsukása és ismételt kinyitása megszüntette a hibajelenséget. Feltételezésem szerint ez a rendellenesség nem közvetlenül az ajtó működéséhez köthető mechanikai hiba, hanem az annak állapotát érzékelő elemnek a bizonytalan működésére vezethető vissza. Ez a jelenség – az ajtó ismételt becsukása-kinyitása révén – a vizsgálati sorozat végrehajtását csak időben hátráltatta, más negatív hatása nem volt. Bár a hiba okozta késedelem minimális volt, a készülék mindenképpen ellenőrzésre, javításra szorult.

További vizsgálatok (pl. ütés, rázás, elektromágneses kompatibilitás stb.) végrehajtását nem tartottam szükségesnek. Véleményem szerint ezekre azután kerülhetne sor, miután a műszerek az alábbiakban „a feltétlenül végrehajtásra javasolt változtatásokon” átesetek.

Az eszköz üzemeltetéséhez szükséges szoftverek vizsgálatai

A méréstechnikai vizsgálatok alkalmával sort kerítettem az „rdcbe” és az „rdcell” programok tesztelésére is. Ezek, mint arról az első pontban már beszámoltam, előírással működtek, rendeltetésszerűen tudtam őket használni – bár a Norton Commander, illetve a DOS-os alkalmazások használatához némi „időutazásra” volt szükségem emlékeimben. A legnagyobb problémát az jelentette, hogy a programok csak IBM PC AT386, vagy azzal kompatibilis számítógépeken futtathatók, amelyekből már egyre kevesebb üzemképes példány létezik. További gond, hogy az RDC III rendszerhez készletezett programok 3,5” méretű floppy-lemezekre találhatók, és ezeknek az adathordozókak a kezelésére alkalmas meghajtókat a mai számítógépekbe már nem építik be. A probléma megoldása a programok pendrive-ra történő másolása lehet. Ehhez a problémakörhöz sorolom még azt is, hogy a műszerek (RDC III AGM) és a számítógépek, valamint a külső klaviatúra közti kommunikáció RS-232 szabványú csatlakozókon keresztül történik, amelyek helyét egyre inkább az USB csatlakozók veszik át.

Javaslatok

Az eddigi használati tapasztalatok, illetve az elvégzett vizsgálatok alapján az RDC III eszközrendszer további használhatóságának fenntartása-javítása érdekében az alábbiak végrehajtását, illetve változtatását javaslom:

A 20-25 évvel ezelőtt általánosan jól alkalmazható számítástechnikai háttér (pl. AT386-os PC, 3,5”-os floppylemez, RS-232 alapú kommunikáció, DOS-os alkalmazások közvetlen használata stb.) mára elavult. Ezért ezen a téren mindenképpen felújításra szorulnak a kiértékelő készülékek. Az RS-232 csatlakozók cseréje USB-re valamint a Windows alatti kezelhetőség megvalósítása nem jelent túlzottan bonyolult feladatot és költségvonzata is elenyésző a realizálható nyereséghez viszonyítva.

- A műszerekben lévő óra IC-k saját tápforrásainak garantált élettartama 10 év. Ezért azok ellenőrzése, szükség esetén cseréje fontos feladat a rendszer alkalmazhatósága szempontjából.
- Az elvégzett vizsgálatok indokoltá teszik a kiolvasók 2-3 évenkénti ellenőrzését, szükség szerinti beszállítást.

- A doziméterek egyedi azonosítójaival egyidejűleg el lehetne tárolni azok egyedi érzékenységének mértékét is, amelyet előzetesen meg lehet határozni. Így lehetőség nyílna arra, hogy a dozimétereket a hozzájuk optimalizált kifizetési algoritmussal lehetne kiértékelni. Ebben az esetben a mérés pontossága, illetve a szórás is szignifikánsan javulhatna. Az ezt szolgáló képesség megteremtését a műszerek számítástechnikai rendszerének korszerűsítésével egyidejűleg lehetne végrehajtani. Ennek a képességnek a megvalósulása esetén az RDC III rendszer akár a Magyar Honvédség hatósági gamma-dozimetriai ellenőrzését is képes lehet ellátni.
- A doziméterek kiosztás előtti kifizetésének lényeges meggyorsítása, valamint a kiolvasók kímélése érdekében egy „tömeges kifizető berendezés” fejlesztése célszerű. Véleményem szerint egy optimálisan 10 dozimétert befogadó tokot lehetne kialakítani, amelybe elhelyezett dozimétereket, egy erre a célra kifejlesztett „kályházó-eszközbe” lehetne behelyezni.
- A doziméterek egyedi azonosítóinak leolvasására egy külső szkennert lenne célszerű alkalmazni. Ezzel az esetleges „elgépelés” által keletkező hibákat lehetne kiküszöbölni. Ez a megoldás már korábban is felmerült, de az akkor elérhető eszközök aránytalanul nagy méretű és alacsony felbontásuk miatt ezt nem tették lehetővé. Az azóta eltelt idő alatt a technika fejlődése ezekre a problémákra megfelelő választ adott.
- Bár a jelenleg alkalmazott tápegységek (mind az RDC III N, RDC III NM) kifogástalanul működnek, ezek helyett (tömegük 5 kg) egy sokkal könnyebb eszköz is kialakítható lenne. A fent felsoroltak közül az első három végrehajtására feltétlenül szükség van, mivel ennek hiányában a rendszer csak részben, illetve nem az elvárt hibahatárokkal képes működni.

Összegzés

Az elvégzett vizsgálatok alapján egyértelműen kijelenthetem, hogy az RDC III személyi dozimetriai rendszer még mindig képes feladatát ellátni. Azonban ehhez feltétlenül szükségesnek tartom a műszerekben lévő óra IC-k saját tápforrásainak ellenőrzését, szükség esetén cseréjét, a kiértékelők 2 évenkénti ellenőrzését, szükség szerinti beszállítást, valamint a rendszerhez alkalmazott számítástechnikai háttér modernizálását. Megítélésem szerint az első négy végrehajtásra javasolt feladat elvégzését követően az RDC III rendszer akár a Magyar Honvédség hatósági gamma-dozimetriai ellenőrzését is képes lehet ellátni.

Végezetül ezúton kívánok köszönetet mondani a vizsgálatok végrehajtásakor (2020-ban) 100 éves Gamma Műszaki Zrt. azon munkatársainak, akik a fejlesztés során végeztek kiváló munkát, valamint azoknak, akik a fent ismertetett vizsgálatok végrehajtásában segítségemre voltak.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Gyártási és Átvételi Utasítás az AGM típusú egyéni sugáradagmérő kiértékelő készülék „0” sorozat gyártására és átvételére (HTI TU 3195);
- [2] RDC III egyéni sugáradagmérő Műszaki leírás, Kezelési utasítás, Technikai kiszolgálás.

Dr. Négyesi Lajos* – Dr. Németh András** – Prof. dr. Padányi József*** – Szabó András****

Zrínyi-Újvár kutatása a hadirégészet eszközeivel

II. rész

A szerzők tanulmányukban Zrínyi-Újvár feltárásának példáján keresztül mutatják be a hadirégészet eszközszerét és módszertanát. A vár 1664-es ostromát és elfoglalását követően, a törökök a cölöpökkel erősített földvár falait és épületeit lerombolták, felgyújtották, kútját betemették. A szerzők a tanulmány első részében, az elméleti bevezető után ismertették a feltáráshoz alkalmazott technikákat és módszereket. Az elvégzett mérések eredményesnek bizonyultak, a várfal nyomait a Mura bal partján, a Szent Mihály-hegy északi végén találták meg. A második részben a további feltárások érdekében alkalmazott lézeralapú távérzékelési technológiát, valamint a különböző műszeres vizsgálatok alkalmazását tárgyalják.

A Zrínyi-Újvárnál végzett mérések mind a várfal egyes szakaszainak, mind pedig a várkút beazonosítása során eredményesnek bizonyultak, ugyanakkor az ún. „sötét kapu” helyét még nem sikerült behatárolni [1]. A várkút 2020-ban elkészült rekonstrukciója, illetve belső szerkezete a 6. ábrán látható.

Szintén geofizikai vizsgálati módszernek minősül a *magnetométeres* mérés, amely a korábbiakban tárgyalt eljárásokkal szemben nem igényli elektromágneses hullámok kisugárzását. Ezzel a méréssel tehát egy passzív megol-

dást alkalmaztunk. Az eszköz képes kimutatni a Föld mágneses terében megjelenő lokális eltéréseket, amelyet a föld alatti természetes képződmények, vagy mesterséges objektumok környező talajtól eltérő mágneses tulajdonságai okoznak [2].

Mágneses jellemzőik alapján az anyagokat különböző kategóriákba sorolhatjuk. Az induktív mágnesezettséggel rendelkező anyagok kizárólag külső mágneses tér jelenlétében mutatnak mágneses tulajdonságokat, annak összeomlása esetén az anyag dipólusai visszarendeződnek eredeti helyzetükbe, és az anyag kifelé ismét semlegessé válik. Remanens (visszamaradó) mágnesezettségű anyag esetén a külső mágneses tér megszűnését követően is megmarad a mágneses tulajdonság, mivel a dipólusok megtartják a felvett orientációjukat [3]. A különböző anyagokból készült tárgyak saját mágneses tere eltérő mértékben képes torzítani a Föld mágneses terét, így az azok által okozott lokális anomáliák az adatok feldolgozása során kiemelkednek a háttérből. Az eltérések kimutatására használható műszerek különböző elveken működhetnek.

Kutatásaink során a gradiens mérést alkalmaztuk, amely két egymás fölé helyezett szondával történik. A két szonda

6. ábra. A várkút rekonstrukció után a), és belső szerkezete a feltárás során b)

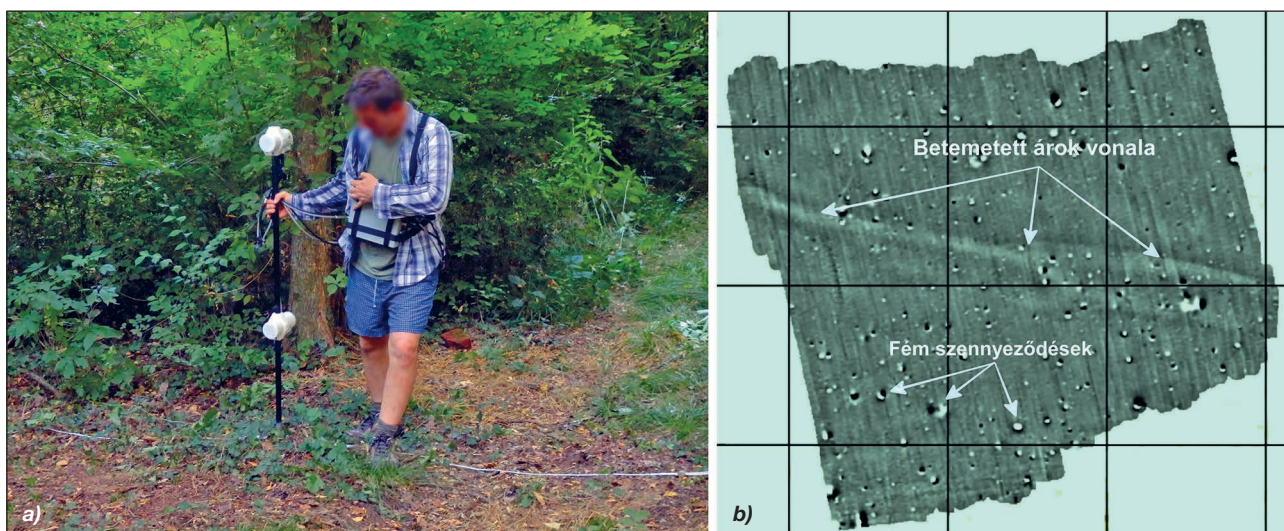


* NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar. ORCID: 0000-0002-6632-5575

** NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar. ORCID 0000-0003-2397-189X

*** NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar. ORCID 0000-0001-6665-8444

**** NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar. ORCID 0000-0002-8750-8557



7. ábra. A magnetométeres mérés folyamata a), valamint egy mérés eredménye b) [6]

által mért mágneses tér különbségét (térértékkülönbség) a szondák távolságával elosztva megkapjuk a mágneses tér vertikális gradiensét. Ennek hely szerinti változásából következtetni lehet a nagyobb felszín alatti objektumok (sáncok, épületmaradványok, kemencék), illetve mesterséges, vagy természetes képződmények, terepelemek (gödrök, árkok, sáncok, kutak) elhelyezkedésére [4]. Jelenleg ez a leggyorsabb és legköltséghatékonyabb eljárás, amelynek felbontását alapvetően a kijelölt mérőpontok távolsága határozza meg. Zrínyi-Újvár területén és annak környékén több ilyen mérést is végeztünk a várfal, illetve az ún. „sötét kapu”, valamint a török ágyúállások és ostromárkok felderítése céljából. Egyik mérésünk eredménye a 7. ábrán látható, amelyen egy korábban betemetett árok vonala rajzolódik ki egy ma is művelés alatt álló mezőgazdasági területen, ahol a talajban nagy mennyiségű fém-szennyeződések nyomai is megjelennek „zaj” formájában [5].

Nagyobb területek rövid idő alatt történő átkutatására a fenti módszerek nem alkalmasak. Ugyanakkor létezik egy másik megoldás, amelynek segítségével akár a levegőből, akár a földről végzett mérések segítségével nagy mennyiségű információhoz juthatunk. A lézer alapú távérzékelési (Lidar – Light Detection and Ranging) technológia, illetve az arra épülő technikai megoldások alkalmazása lehetőséget teremtenek többek között arra is, hogy adott területen olyan egykori objektumok nyomait is felfedezzük, amelyek az emberi szem számára már hosszú ideje láthatatlanok. Tekintettel arra, hogy Zrínyi-Újvár esetében hasonló körülmények álltak fent, illetve a terep és a környezet nem tette lehetővé, hogy földfelszín közeli megoldásokat vegyünk igénybe, ésszerűnek tűnt a terület levegőből történő feltérképezése, és így a felszín nagy pontosságú modelljének előállítás.

A Lidarral végzett mérések esetén fontos szempont a kinyert adatok georeferálhatósága annak érdekében, hogy az előállított modelleket pontosan tudjuk illeszteni a helyszín térképeivel, geoinformációs adatbázisaihoz. Ez az igény tetten érhető az ilyen típusú fedélzeti lézerszkennerek felépítésében, hiszen a lézertáv mérő (LRF⁷), a videokamera, az adatrögzítő, illetve a repüléstervező és végrehajtó egységen felül azok tartalmaznak egy inerciális, és egy globális műholdas navigációs rendszert (INS⁸, GNSS⁹) is [7].

A Lidarok az ultraviola, a látható fény és az infravörös tartományban – a rádiófrekvenciás távolságmérés elveivel hasonlóan – folytonos hullámú, vagy impulzusüzemű mó-

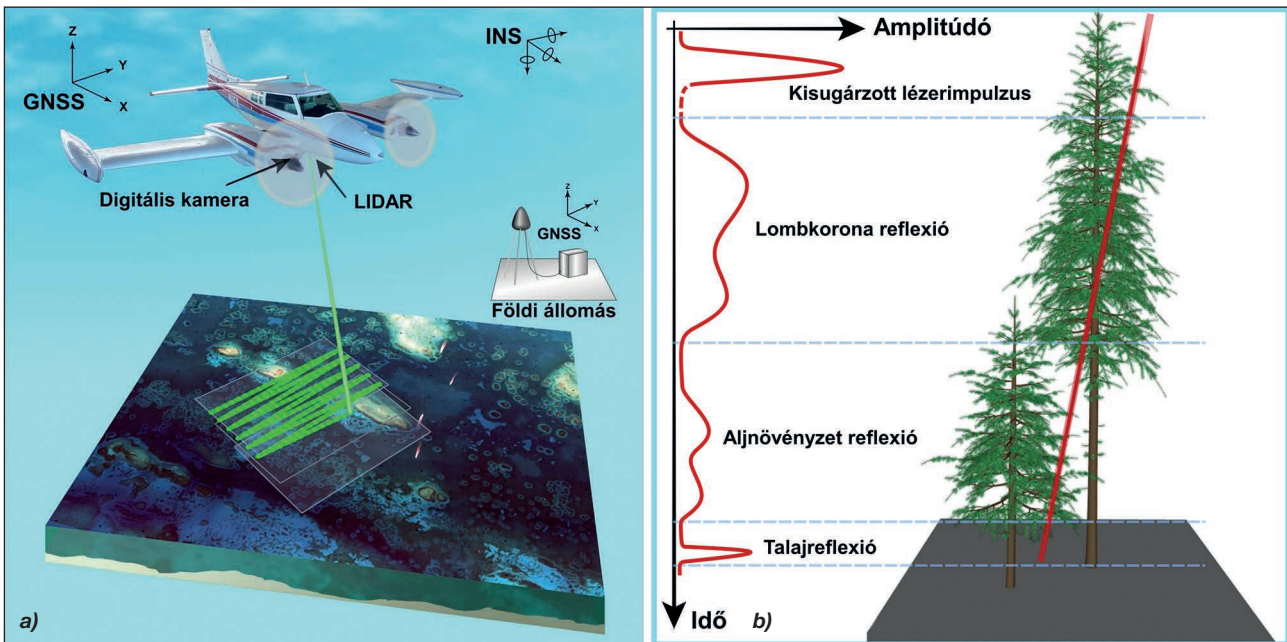
dokban működhetnek. A besugárzott felszínről az energia egy része visszaverődik, amelyet a lézertáv mérő egység detektora érzékel, majd a kibocsátás és vétel között eltelt idő alapján – a terjedési sebesség ismeretében – a feldolgozó egység meghatározza annak távolságát. A terep és az objektumok egyes pontjainak pontos térbeli helyzeti meghatározásához minden pillanatban szükséges a szenzor helyének és orientációjának ismerete. A mérések eredményeként kialakuló pontfelhő, illetve az arra illesztett felületi modell pontosságát – több más paraméter mellett – a mérési gyakoriság határozza meg, amely általánosságban 300 Hz és 15 kHz között lehet.

Légi topográfiai Lidar esetén, a hordozóplatform (pl. UAV¹⁰) egyenletes sebességgel halad a felméréndő terület fölött, miközben a lézerszkennerek a repülési irányra merőleges síkban pásztázza a felszínt, másodpercenként több ezer távolságmérést végezve. A rendszer hatótávolságát, azaz a maximális repülési magasságot a kibocsátott energia nagysága és a detektor érzékenysége mellett a nyaláb széttartása, a felszín reflexiós tulajdonsága, illetve a légkör pillanatnyi állapota is befolyásolja. Adott mérési sűrűség mellett a felületi mérési pontosságot a repülési magasság (a pásztázott terület szélessége) és a sebesség, illetve a szkennelési frekvencia egyaránt befolyásolja. A felszínből kiemelkedő terepobjektumok elein vagy a növényzeten a lézersugár magassági törést szenvedhet, azaz az energia egy része azokról (first echo), míg a fennmaradó része tovább haladva a talajfelszínről verődik vissza (last echo). Az egyes detektorok képesek egymástól megkülönböztetni ezeket a visszavert jeleket, így az utólagos feldolgozás során azok egyszerűen szűrhetővé válnak. Ez különösen hasznos lehet erdős, fás területek felmérése során, amikor a különböző lombkorona-, illetve aljnövényzet-szintekről is érzékelhetünk reflexiókat a detektorba [7, 8] (8. ábra).

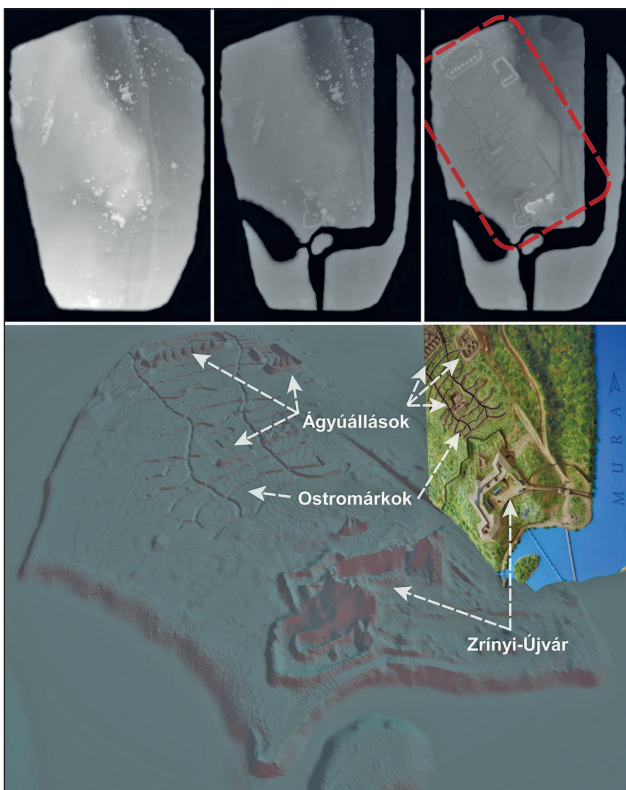
Zrínyi-Újvár LIDAR-al végzett felmérésének eredménye, valamint a szűrés, illetve a vár és az ostromterület képmánipulációval történő felhelyezését követően kialakuló összkép a 9. ábrán látható.

FÉMVIZSGÁLATOK

A fellelt tárgyak számos további információval szolgálnak. Az egyik kutatási irányunk, a fémvizsgálatok során a muskétagyolyókat, ágyúgolyókat és bombarepeszeket roncs-



8. ábra. A Lidarral történő mérés folyamata a) és a többszörös reflexió jelensége b)¹¹ (szerzői szerkesztés)



9. ábra. A Lidarral készített mérések eredménye, és az azok alapján készített manipulált modell (Forrás: szerzői szerkesztés a [9] alapján)

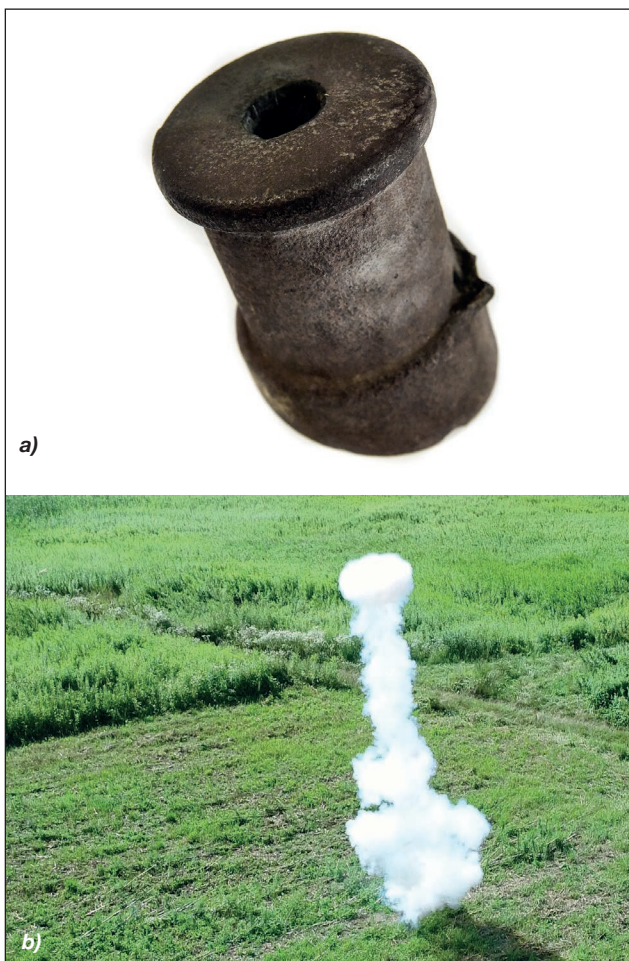
lások és roncsolásmentes vizsgálatoknak vetették alá, illetve egy ostromkori csákány anyagának elemzését is elvégeztük. A legfontosabb eredmények a következők:

- A Zrínyi-Újvárnál előkerült muskétagyolyók anyagát több ütemben, és eltérő módszerekkel vizsgáltuk. Első lépésben a lövedékek sűrűségét mértük meg, ebből következtetve azok anyagának összetételére. Kiindu-

lasi alapnak tekintettük azt az ismert tényt, hogy a sűrűség a tömeg, és a térfogat hányadosa. A térfogat meghatározásakor abból indultunk ki, hogy minden szilárd test akkor térfogatot szorít ki folyadékba merülve, amekkora a saját térfogata. A méréshez egy 0,5 cm³ osztású mérőhengert és desztillált vizet használtunk. A hengerben minden mérés kezdetén 10 cm³ desztillált vizet mértünk, majd a lövedéket beleengedve leolvastuk a kiszorított víz térfogatát. A tömeg meghatározására tízezred pontosságú digitális mérleget használtunk. A vizsgált lövedékek (8 db) átlag tömege 25,0083 g, átlag térfogata 2,1875 cm³ volt. A két adat hányadosa adta az átlagsűrűséget (11,4323 g/cm³), amely azt mutatja, hogy a vizsgált lövedékek anyaga ólom (11,34 g/cm³).

- Természetesen a műszeres vizsgálatokat is elvégeztük az anyag meghatározására. A mintákon végzett roncsolásos és roncsolásmentes vizsgálatok azt mutatták, hogy alapvetően ólom (ólom-oxid) és némi szilícium (üveg-, vagy homokszennyeződés) mutatható ki a lövedékek belsejében. A lövedékek mikroszerkezete nagyon finom, ami gyors hűlésre utal. Ez azt valószínűsíti, hogy fém formába történt az öntés. Abból, hogy a lövedékek anyagában ötvözőelemet nem találtunk, az is következik, hogy az aránylag puha ólomlövedék a becsapódáskor azonnal roncsolódott. Amikor ez emberi testben történt, a deformálódó lövedék szörnyű sebet okozott, durván roncsolva a szöveteket. Ezek közül talán a legfontosabb az, hogy a lövedékek (ágyugolyó, repeszek és a mozsárbombák) készítői tisztában voltak a hűtés gyorsaságának fontosságával. Ahhoz ugyanis, hogy a tömör ágyugolyó megfelelő romboló hatással rendelkezzen, szívósságot adó szövetszerkezetet kellett elérni. Ezt lassú hűtéssel érték el. Amikor a cél a repeszhatás fokozása volt (mozsárbombák), gyorsabb hűtést alkalmaztak, ami ridegebb szövetszerkezetet hozott létre.
- A csákány esetében roncsolásos vizsgálattal kerestünk választ arra a kérdésre, hogy milyen eljárással érték el, hogy a csákány tartós maradjon. A csákány csiszolatáról készült kép azt mutatta, hogy a készítője





10. ábra. A kísérlethez használt jellövő mozsár a), és a lövés (hangjelzés) pillanata b)

kovácsolással alakította ki a formát. Kétféle karbon-tartalmú lemezt kovácsoltak össze, 10-11 rétegben. A kisebb karbon-tartalmú lemezek az anyag szívósságát, a nagyobb karbon-tartalmú lemezek a keménységét biztosították [10].

Érdekességgként röviden szólunk egy olyan kísérletről, amelynek kivitelezése kockázatos volt. Zrínyi Miklós leveléből tudjuk, hogy a határ menti őrállásokban jellövő mozsárral adtak hangjelzést, ha észlelték az ellenség mozgását [11]. Így hát, aki „értette a dörgést”, azonnal tudott reagálni és összpontosíthatta erőit a szükséges helyen. Vizsgálatunk lényege az volt, hogy mind számítással, mind kísérlettel (lövessel) próbáljuk behatárolni a jellövő mozsarak hangjának hallhatóságát, és ezzel a görék (magas oszlopokon álló őrhelyek) egymástól való távolságát. Mindkét módszer az bizonyította, hogy 3,5 km az a távolság, amelyen belül biztosan hallatszott a „dörgés” (10. ábra).

ÖSSZEZGÉS

Kutatásaink több tudományág módszereinek és eszközeinek felhasználásával segítette a Zrínyiek örökségének megőrzését, új adatok feltárását. Meggyőződésünk, hogy ez az egyik útja a hadtudományi kutatások megújításának. Az előzőekben bemutatott eredmények egy hosszú út egyes állomásait jelzik, de nem a végállomást. Számos területen lehet még gazdagítani hazánk meghatározó csa-

ládjának történetét. Legújabb kutatásaink a Zrínyi család gazdag fegyvertárának még fellelhető darabjaira vonatkoznak, áttörést ígérve ezen a területen is.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Padányi József, „A Zrínyiek nyomában”. *Muratáj*, (2016) 1–2. 94–104.;
- [2] *Földmágneses kutatómódszer. Alkalmazott földfizikai gyakorlat.* Elérés: 2020. 09. 15. <http://geophysics.elte.hu/magneses1.pdf>;
- [3] Alvin Hudson, Rex Nelson, „Az anyag mágneses tulajdonságai” In: *Útban a modern fizikához.* LSI OMAK Alapítvány (1994) 775–785.;
- [4] Lenkey László, „Földmágneses mérések a régészetben” Régészeti geofizika konferencia, előadásanyag Budapest, 2013. Elérés: 2020. 09. 15. <http://oldwww.mageof.hu/regeszet/arch/1311lenkey.pdf>;
- [5] Németh András, Szabó András, „Zrínyi-Újvár ostromának műszeres kutatása.” In: *Zrínyi-Újvár: Egy 17. századi védelmi rendszer az oszmán hódoltság határán* (Hausner Gábor, Németh András szerk.) Budapest, Ludovika Egyetemi Kiadó, (2019): 159–180;
- [6] Négyesi Lajos, *Csaták néma tanúi. A csata- és hadszíntérkutatás – hadtörténeti régészet fogalma és módszerei.* Budapest, HM Hadtörténeti Intézet és Múzeum, 2010;
- [7] Verőné Wojtaszek Malgorzata. Fotointerpretáció és távérzékelés 3. A lézer alapú távérzékelés. Digitális Tankönyvtár (2010) Elérés: 2020. 07. 9. https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_FOI3/ch01s03.html?fbclid=IwAR2OaHr0G7ugMtfu6RlAMVP-nHEpsSToQeLjnQOlnJwJpp5rKq5luqV098w;
- [8] Székely Balázs, Molnár Gábor, Andreas Roncat, „Domborzat- és felületmodellek teljes jelalakos légi lézerszkenneléssel” *Geodézia és kartográfia* 59, 12. sz. (2007): 8–13.;
- [9] Németh András, Szabó András, Balog Ferenc. „3D virtualizációs és vizualizációs technológiák az eredmények archiválásában.” In: *Zrínyi-Újvár: Egy 17. századi védelmi rendszer az oszmán hódoltság határán* (Hausner Gábor, Németh András szerk.) Budapest: Ludovika Egyetemi Kiadó, 2019, 223–266.
- [10] Bartha Tibor, „A Zrínyi-Újvárnál talált leletek fémvizsgálatának eredményei és értelmezése” 389–399. – In: *Határok fölött – Tanulmányok a költő, katona, államférfi Zrínyi Miklósról.* Szerkesztette: Bene Sándor, Hausner Gábor, Padányi József. Budapest, MTA Bölcsészettudományi Kutatóközpont, 2017;
- [11] *Zrínyi Miklós összes művei* Szerkesztette Kovács Sándor Iván. (Magyar Remekírók) Budapest, Kortárs Kiadó, 2003. 761. o.

JEGYZETEK

- 7 Laser Range Finder.
- 8 Inertial Navigation System.
- 9 Global Navigation Satellite Systems.
- 10 Unmanned Aerial Vehicle – személyzet nélküli légi jármű (drón).
- 11 https://prd-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/styles/full_width/public/thumbnails/image/lidar-plane-fig-square_0.jpg (Letöltés ideje: 2020. 07. 10.) https://www.mdpi.com/remotesensing/remotesensing-12-00247/article_deploy/html/images/remotesensing-12-00247-g009.png (Letöltés ideje: 2020. 07. 10.).



1. ábra. A gyorshadtest páncélvonata indulás előtt 1941. június 7-én (Fotó: HM HIM, 2016.5.25.4/DFK)

Horváth Balázs Zsigmond*

A magyar páncélvonatok a 2. világháborúban

BEVEZETÉS ÉS TECHNIKAI LEÍRÁS

A magyar páncélvonatok második világháborús tevékenységeit befolyásoló történelmi eseményeket érdemes 1929-től vizsgálnunk, amikor az addigi, már korosodó állományból négy vonatot leselejtezték. Bár a többi szerelvényen történt némi állagmegóvás, ez a beavatkozás nem befolyásolta jelentősen a páncélvonatok első világháború óta változatlan felépítését. A fő fegyverzetet kezdetben 5/8 M, illetve 18M 80 mm űrméterű, L/30 csőhosszúságú tábori ágyúk alkották, amelyek lőtávolsága 8400 m volt. 1938-tól minden mozdony füstterelőket kapott, illetve minden szerelvényre lövegtoronyok kerültek, 22M 80 mm-es lövegekkel.

A szerelvények római számmal (I–IV.) történő számozását felváltotta az arab számok használata. Hadrendbe került a Rába Vp páncélkocsi is, amelynek gyártását 1932-ben kezdték meg, és egyik példányát sínautóvá alakították. Besorolása alapján ez is teljes értékű, könnyű páncélvonat-

nak minősült, de a járműre nem szereltek sem ütközőket, sem kapcsolószerkezeteket. A Rába Vp páncélkocsit a sorozatgyártásának végeztével szétbontották.

1939-ig állandósult a vonatok lajstroma, és 101–104 között számolták be őket. A vonatokhoz összesen 7 db lövegkocsi tartozott. Minden szerelvény közvetlenül a főparancsnokság alá került. A 101. számú szerelvény magas felépítménnyel készült, a 102. számú lapos szerelvény volt áramvonalasított vagonokkal, a 103. számú ismét magas szerelvény, 377. sorozatú gőzmozdonnyal. A 104-es páncélvonat egyetlen motorkocsiból állt, amelynek az Osztrák–Magyar Monarchia idején eredeti lajstromjelzése kkStB 303-343 volt. A jármű eredeti fegyverzetét az 1930-as években a GYŐR nevű dunai őrszázád 80 mm-es lövegével cserélték le, amikor a hajót a modernebb Bofors típusú légvédelmi ágyúval látták el. A páncélvonat tevékenysége kevésbé ismert. 1944 őszén a Dunántúlon teljesített járőrszolgálatot, 1944–1945 telén

ÖSSZEFOGLALÁS: Magyarország páncélvonatai az első világháború idején semmivel sem maradtak alul a többi hadviselő fél hasonló eszközeihez képest. A világégés befejeztével a korábbi ellenfelek még hosszú ideig szívesen alkalmazták saját hadseregeikben a jóvátételként megszerzett szerelvényeket. A német Wehrmacht még 1939 után is alkalmazott egy lövegkocsit az oroszok ellen, amely annak idején a GANZ műhelyében készült. A jelen írás azt mutatja be, hogy a második világháború idejére magyar állományban maradt páncélvonatok milyen módon vettek részt az ütközetekben, és mennyire voltak hatékonyak a legkritikusabb pillanatokban.

KULCSSZAVAK: páncélvonat, Magyarország, második világháború, logisztika

ABSTRACT: The armoured trains of Hungary during world war one were no less better than the weapon systems of other belligerent countries. After the cataclysm the former enemies willingly used them not even in their armies as restitution and even for a long time. The German Wehrmacht even applied a gun carriage manufactured at GANZ works well after 1939 against the Russians. The present article presents how the armoured trains staying in service took part in battles and how did they stand ground in the most crucial moments.

KEY WORDS: armoured train, Hungary, world war two, logistics

* ORCID: 0000-0001-9980-7688



bázisa Balatonfüreden volt. A kezdeti időkben a harctevékenységek során, a páncélvonatokon több esetben alkalmazták a magyar légierő felségjelzéseit is, de azokat nem rendszeresítették a fegyvernemben.

1940-től a páncélvonatok a fővezérség közvetlen alárendeltségében, önálló századként működtek. Felépítésük és felszerelésük gyakorlatilag nem sokat változott a háború végéig. Egy mozdonyból, két erődkocsiból, két lapos platókocsiból álltak. Mindegyik páncélvonatnak volt egy ellátó szerelvénye, amelyet jóval erősebb gőzmozdony vontatott, és a lőszer-, valamint a fogyóanyagkészletet a harc helyszínéig szállította. A harcba indulás során a páncélvonatot is vontatták, hogy annak 377. sorozatú mozdonyát kíméljék. A kocsik közé kapcsolt mozdony csak harcba vitte a szerelvényt, amely nem volt nagy tömegű, mivel csupán 3-5 kocsiból állt.

A BOTOND ÁGYÚS VONAT ÉS EGYÉB ZSÁKMÁNYOLT TECHNIKAI ESZKÖZÖK

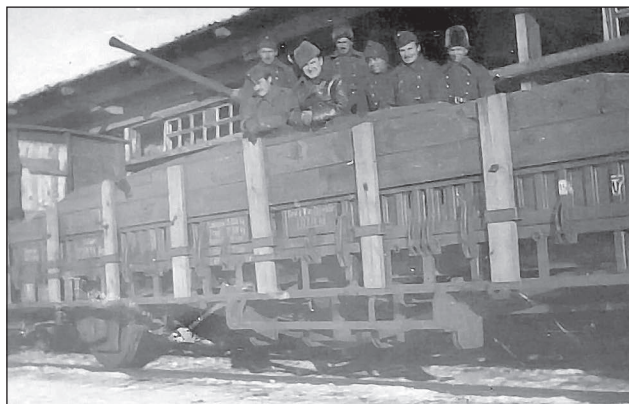
1942-ben a magyar megszálló erők számára alakították ki az először Éva, később Botond nevű szükség ágyús vonatot. Az ágyús és a páncélvonat közötti eltérés abban rejlik, hogy a páncélvonat esetében a zárt páncélozott küzdőtérben helyezték el a fegyvereket, míg az ágyús vonatok esetében, gyakran pórekocsikra helyezték nagyobb kaliberű lövegeket, amelyhez a kocsik járműszerkezetében nem kellett változtatásokat végezni. Az ágyús vonatok mozdonyai nem voltak páncélvédettek.

A vonathoz elő- és utánfutó kocsit kapcsoltak 1-1 gépágyúval. Légvédelmi szempontból a szállítmányt 4 db kétcsövű gépágyúval biztosították, amelyeket fedett folyosó kötött össze. A páncéloskocsi felszereléséhez 1 db 7,62 cm-es tábori tarack és 1 db 20 mm-es nehézgéppusa tartozott, a pórekocsit 4 db 15 cm-es aknavetővel és két további kocsit 1-1 db 4 cm-es légvédelmi gépágyúval szerelték fel. A vonatot a 328-as vagy a 424-es típusú gőzmozdony vontatta. Ez volt a legnagyobb tüzérot képviselő magyar vonat a második világháborúban.

A Botondot a Felvidékről Veszprém és Tapolcán át Balatonfűzfőre vonták vissza, erről a támaszponttól járőrözött a Balaton északi partján. A 1945. március 6–16. között zajlott „Tavaszi ébredés” hadművelet során az Alsóörs-Veszprém-Hajmáskér-Enying vonalon tört előre, majd a szovjetek Bécs ellen irányuló hadműveletének megindulása után Tapolcán és Nagykanizsán át Csáktornyáig vonták vissza, ahol szemtanúk állítása szerint szovjet légitámadás érte.

A magyar alakulatok nemcsak hazai gyártmányú szerelvényekkel harcoltak. A Keleti Megszálló Csoport ellenőrizte 1942 tavaszától a Brjanszki-erdőn átvezető, és a partizánok által rendszeresen támadott Lemberg–Brjanszk vasútvonalat, a kialakult helyzetet a katonák "sínháború" néven emlegették. Ennek a vasútvonalnak a biztosítására 1942 nyarán Minszkben a csoport átvett egy németek által zsákmányolt szovjet páncélvonatot, amely 7,5 cm-es orosz gyártmányú lövegekkel volt felszerelve. A szerelvény hosszú ideig Lokot vasútállomáson állomásozott, és bevetésével több nagyobb partizántámadást sikerült megelőzni, valamint visszaverni, miután a magyar rádiósok megfegték a partizánok rejtjelkulcsát. Később ez a páncélvonat 1944 nyarán a korábbi lengyel határig fedezte a megszálló erők visszavonulását. A széles nyomtávúvasútvonalak végét elérve, a személyzet parancsot kapott a vonat működésképtelenné tételére.

A legtöbb zsákmányolt vonat OB-3-as típusú volt, ezek közül egynek pontosan ismerjük a nevét is: a Sztarij Osz-



2. ábra. A Botond ágyús vonat 1942-ben a szovjet fronton, Bofors 36M légvédelmi gépágyúval (Fotó: [3], 212. o.)

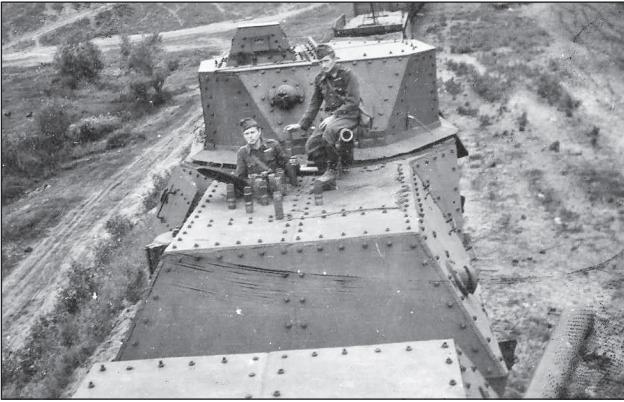
kol-ét, amely 1942-ben az azonos nevű városról kapta nevét. Ez korábban a szovjet OB-3 520-as páncélvonat volt. A katonák egy másik vonatot pedig „Celjanka” becenévvel láttak el, ami magyarul falusi asszonyt jelent. A Nyugati Megszálló Csoport egy ugyancsak a németek által korábban zsákmányolt, eredetileg lengyel páncélvonatot is kapott, amelyet 1944-ben Kárpátalján keresztül a Felvidék-re vontak vissza, majd pályatestrobbantás miatt Kassa és Rimaszombat között hátra hagyták.

A későbbiekben könnyített páncélvonatok is épültek ki-fejezetten a Nyilaskeresztes Párt – Hungarista Mozgalom katonai bizottsága, valamint a Hungarista Harcparancsnokság megbízásából. Építésükre azért volt szükség, mert a többi páncélvonat Budapest ostromának idején máshol teljesített szolgálatot vagy javítás alatt állt, és a könnyebb szerelvények akár villamossíneken is alkalmazhatóak voltak. A munkálatok során három vonatnak kellett elkészülnie a Ganz-MÁVAG műhelyeiben. Az első háromkocsis szerelvény 1944. november 1-jén már bevetésre készen állt, és felségjelzésként a nyilaskeresztes pajzsot festették rá. Személyzetét önkéntesekből toborozták, akik a homlokfalba helyezett 40 mm-es légvédelmi gépágyú működtetéséért feleltek. A vonat felszereltségéhez tartozott egy további golyószóró. Az aknára futás kivédése érdekében a mozdony elé kapcsolt pórekocsira sínépítéshez használható nyersanyagokat rakodtak fel. A mozdony csak félig kapott páncélozást.

Első bevetésként Lajosmizse felé kellett kifutnia egy kórházvonat biztosítására, Kispest irányába. Ezután visszaküldték Ócsára, hogy a beszivárgó szovjet alakulatokat derítse fel, és ha lehet, okozzon kárt bennük. A bevetés

3. ábra. A Botond ágyús vonat 1943-ban a belorusz fronton (Fotó: id. Zádori Ferenc, [3], 213. o.)





4. ábra. A Magyar Királyi Honvédség által zsákmányolt szovjet OB-3 páncélvonat; 1943. keleti front (Fotó: [3], 211. o.)

során egy 5 db T-34-es harckocsiból álló csoportra 5 lövést adtak le, 3 épület és egy T-34-es kigyulladt, majd a vonat visszavonult Kőbányára. Wirth Károly, a Dolgozó Nemzet Hivatásrendjének vezetője vette át a szerelvény parancsnokságát, utasítására a vonat többször kifutott Vecsés és Rákoskeresztúr irányába, majd a gödöllői HÉV vonalára is. Minden esetben tűztámogatás volt a küldetési parancs. Karácsony után pár nappal a háromkocsis szerelvény a nagyiccei kitérő és Rákosfalva megálló között, majd az Őrs vezér térnél tartózkodott és lövéseket adott le. Végül visszafutva a Keleti pályaudvarhoz, részt vett egy ellenlökésben a Kerepesi utat követve a Pongrácz útig, majd az Ügetőpályára adott le öt lövést. Ekkor a németek átvették a szerelvény parancsnokságát, és a villamossíneken a Baross térnél keresztbe állították a vonatot a Rákóczi út előtt, hogy a pályaudvar felől ne legyen belátás az utcára. Miután minden második kerekét berobbantották, a szerelvény használhatatlanná vált.

1944. november 21-ére egy másik könnyített szerelvény is elkészült. A felszereltsége egy 80 mm-es tábori löveg, és egy az egyik vagon tetejére felszerelt golyószóró volt. Az első bevetésre a Háros-szigeten került sor, ahol álcázva, a Dunával párhuzamosan helyezkedett el a síneken. Támogatta a Csepel-szigeten harcoló alakulatokat, és folyamvédelmet látott el. További küldetésekre nem került sor, mert a sínek megrongálódása miatt mozgásképtelenné vált, ezért személyzete harc képtelenné tette.

A harmadik vonat Óbuda aquincumi részén vette fel első harcálláspontját, és többször kifutott Esztergom irányába. 1944 szeptemberében a Bécsi úti előretörésnél lőtte a szovjet csapatokat az óbudaai temetőnél lévő vasúti átjárónál. Vonatbiztosítónaként a 8/15. SS lovasezred egy harccsoportját osztották be mellé, de végül az óbudaai vasútállomás filatori letérőjénél harc képtelenné kellett tenni.

MAGYAR PÁNCÉLVONATOK BEVETÉS KÖZBEN

Az első bevetésekre a bécsi döntések után, a visszacsatolt területek biztosítása érdekében került sor; 1938-ban részt vettek a felvidéki, 1939-ben a kárpátaljai, 1940-ben az erdélyi bevonulásban. Kárpátalja 1939-es visszafoglalása 1939. március 15–18. között egy, a Magyar Királyi Honvédség által végrehajtott katonai akció volt a függetlenségét március 14-én kikiáltó Kárpát-Ukrajna ellen. Ennek során a magyar csapatok elfoglalták Kárpátalja teljes területét, amely ezt követően egészen 1944 októberéig a Magyar Királysághoz tartozott.

A vezérkar először a felvidéki területekre vezényelte a 101-es és 102-es páncélvonatokat, hogy azok a területi

átadások zavartalanságát felügyeljék. A putnoki vasútállomásra érkezett páncélvonat Bánrévén keresztül tartott a felvidéki vasútvonalak irányába. A kisvárosok lakossága előzőlőtte a vasútállomásokat és virágokkal, feliratokkal díszítette a páncélvonatot.

Az 1940. évi nyári mozgósításkor mindegyik vonatot felvonultatták a magyar–román határra, de az erdélyi bevonulásban csak a 102-es számú vett részt, a Nagyvárad–Dés menetvonalon. A délvideki hadműveletben azonban már az összes magyar páncélozott szerelvényt bevetették.

Az Szovjetunió elleni támadásban kezdetben egyik vonat sem vett részt, és a Kárpát-csoport felvonuló segereit csak az országhatárig való eljutás ideje alatt biztosították a szerelvények. Ennek valójában technikai technikái okai voltak. A sínek átépítése a nyugat-európai nyomtáv méretről a széles nyomtávra, hosszú és erős próbáló munka volt, amely később is meghatározta a magyar erők mozgásának lehetőségeit. Ezt a tényt igazolja, hogy a magyar szerelvények harci cselekményeiről a részletesebb leírások a szovjet csapatok Kárpátok felé való előre nyomulása utáni időkről maradt. A vonatok felszereltsége akkoriban egyébként elegendőnek bizonyult a harci feladatok ellátására.

A hadműveletek négy hónapja alatt a gyorshadtest 2000 km mélyen nyomult előre a Szovjetunió területén. 1942-től Magyarország szerepe a tengelyhatalmak katonai mozgósításában egyre nagyobb lett. A Szovjetunió elleni hadjáratban való aktív részvétel már a Adolf Hitler német kancellár követelésének teljesítésére történt. A Barbarossa-terv felváltása a Kék-tervvel, valamint a mostoha időjárási körülmények által okozott veszteségek a szovjet ellen-támadások feltartóztatatlansága arra ösztönözték a német hadvezetést, hogy 1942-ben vegye nagyobb igénybe szövetségeseinek katonai erejét.

A későbbi évekből származó visszaemlékezések nagy része nem említi meg a páncélvonatok pontos számozását vagy típusát, csak a földrajzi helyeket, ahol a bevetések történtek. A Don folyó mögé visszavonuló szovjet csapatok, amelyek addigra már kikapaszthatták a Magyar Királyi Honvédség gyöngéit, 1942 nyarának végén támadásba lendültek annak érdekében, hogy a folyó nyugati partján hídfőállásokat hozzanak létre.

A támadásaik iránya a Riv és Sztorozsevoje által határolt Don-szeglet, Scsucsej, Korotojak és Kosztyenki települések környéke volt. Az oroszok előretörése mögött a későbbi, nagyobb szabású hadműveletek kiinduló bázisainak megteremtése volt a legfontosabb tényező. Fontos volt a közeli Voronyezs–davidovkai vasútvonal irtalma is.

Később a magyar arcvonal ellen intézett szovjet támadások célja és iránya sokáig csak találgatásokra kényszerítette mind a magyar 2. hadsereg, mind a német B. hadsereg-csoport parancsnokságát. 1943. január elejétől azonban egyre kiszámíthatóbbá vált, hogy a következő szovjet támadás célja a Rosszos–szvobodai vasútvonal birtokbavétele lesz.

Ezekben az időkben, amikor már a keleti hadszínter „anyagháborúvá” is kinőtte magát, szinte lehetetlen körülmények uralkodtak a páncélvonatokon. A partizánok miatti állandó készség és feszültség néha még az alapvető higiéniai feltételeket sem tette lehetővé azok számára, akik őrzőteket teljesítettek a vasúti pályákon. Az előbb említett körülmények ellenére a magyar páncélvonat állomány kiegészült a németek által zsákmányolt vonatokkal, többek között OB-3-as szerelvényekkel.

A zsákmányolt szovjet páncélvonatokat a németek állították helyre, és csak időlegesen kerültek a magyar haderő kezelésébe. Miután ismét visszakerültek a Wehr-





5. ábra. Erdélyi bevonulás a felvirágozott 101-es páncélvonattal, 1940 (Fotó: HM HIM, 19919)

machthoz, többé már nem kerültek bevetésre olyan hadműveletben, amelyben a Magyar Királyi Honvédség is részt vett.

A doni katasztrófa a mai napig a világháborús részvétel tragikus emléke a magyarok számára. A hatalmas veszteségek miatt a Vörös Hadsereg 1943 végére megközelítette az Északkeleti-Kárpátokat. A határvédelem érdekében a magyar királyi 1. hadsereg a Náday István vezérezredes parancsnoksága alatt álló 16. és 24. gyaloghadosztállyal, valamint az 1. és 2. hegyidandárral vonult fel. A csoportosítások egészen március közepéig elhúzódtak.

A hadsereg-parancsnokság március 29-én indult útra Munkácsra, és ott vette át a négy seregtest feletti irányítást. Az 1. hadsereg feladata volt annak a mintegy 200 km-es résnek a biztosítása, amely a szovjet előretörés nyomán Csernovic és Tarnopol között, a német védelemben kialakult. A parancs értelmében a hadsereg március 28-án az Erich von Manstein vezértábornagy parancsnoksága alá került, és április 1-jén megkezdődött átcsoportosítása Galíciába. Hét nappal később, Delatyn térségében a magyar alakulatok már a szovjetek ellen harcoltak.

Július 13-án az 1. Ukrán Front támadásba ment át az Észak-Ukraina Hadseregcsoport ellen Lemberg irányába. 22-én a támadás kiterjedt a magyar királyi 1. hadsereg balszárnyán harcoló VII. hadtest arcvonalszakaszára. Az egységek július 28-ára Hunyadi-állásba vonultak vissza. Augusztus közepétől a 4. Ukrán Front, amelyet kifejezetten az Északkeleti-Kárpátok áttörésére, majd a Magyarországon és Szlovákiában történő hadműveletek lefolytatására alakított meg a szovjet főparancsnokság, augusztus 5-én már a védelmi állásokat támadta. A támadást augusztus 7-én sikerült visszafordítani, és egészen szeptember végéig tartani a védelmi vonalakat.

A hatékony védekezést két hónap után a nemzeti érdekekkel valló ukrán partizánok is olyan nagymértékben nehezítették, hogy veszélyeztették az összeköttetési vonalakat. A rendfenntartás érdekében a 201. könnyű hadosztályt partizán-elhárításra vetették be.

Június 27-én egyezményt írtak alá, amely nyomán az ukránok nem támadták a magyar katonákat és csapatteket sőt, olykor segítették is őket a szovjetekkel szemben. Ennek ellenére 1944 nyarának végére a front nemcsak az Északkeleti-Kárpátokban, Kárpátalján érte el a magyar határokat, de a Keleti-Kárpátokban, a Székelyföldön is.

Románia háborúból való kiválása után (1944. augusztus 23.), az ország védelme érdekében szükségessé vált a lengyel területen szolgálatot teljesítő alakulatok hazarendelése is. A román király, a fegyveres erők főparancsnokaként parancsba adta az Észak-Erdély visszacsatolását megindító hadműveletek megkezdését.

Augusztus 24-én a magyar vezérkar 1. osztálya intézkedett a 101. és 102. számú páncélvonatok, valamint a

10. rohamtüzérsztyál felvonultatására Kolozsvár térségébe. A Katonai Szállítás Vezetőség a páncélvonatok beérkezését a következő napra tervezte. A két páncélvonat még 24-én útból indult; a 101. Kölcényből, a 102. Felsővisóról. 26-án értek Dése, a 102. azonnal tovább indult Marosvásárhelyre.

A 10. rohamtüzérsztyál is azonnal elindult Szigetvárról, de 25-én Békéscsabán, az egyik ütegét a helyi parancsnokság önkényesen kirakodta. Ugyancsak 25-én, a 10/1. és 10/2. rohamtüzéruveget szállító vasúti szerelvények beérkeztek Dése.

AZ 1944-ES MAGYARORSZÁGI HADMOZDULATOK A PÁNCÉLVONATOK EGYEDI TÖRTÉNETEIN KERESZTÜL

A 101-ES PÁNCÉLVONAT

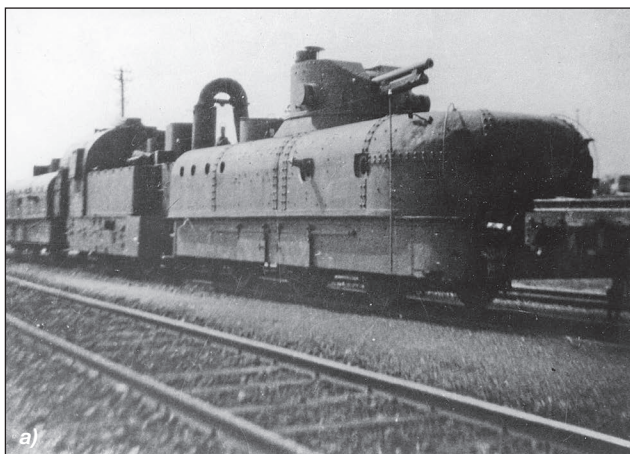
1944. szeptember 5–9. között a 101-es páncélvonat Désen állomásozott, az és az erdélyi hadműveletek első szakaszának idején járőrözéssel biztosította az északi területek vasútvonalait. Szeptember 15-én Szegedről kelet felé kifutva, bekapcsolódott az aradi csatába. Lippáig tört előre, majd Világoshoz irányították. Ott 20-án a lövegkocsi homlokátalátot kapott, a parancsnokkal együtt többen hősi halált haltak. Újszentanna és Nagyszalonta állomásokon várakozott, majd november 6-án futott be Budapest–Vízafogó vasútállomásra, ahol a javítóműhelyben részlegesen kijavították.

November 11–17. között Tatán, majd a Budafok–Szababattyán vonalon, november 28-a és december 4-e között a Simontornya–Zichyújfalu, december 7–23. között a Székesfehérvár–Keszthely szakaszokon járőrözött. December 16-tól 26-ig Csopak, 26-án Csepreg, december 27-től 1945. január 2-ig ismét Csopak, január 3-án Alsóörs térségében részt vett a védelmi harcokban. Ezt követően február 21-ig a Dél-Bakony vasútvonalait biztosította.

Február végén német parancsnokság alá került, és sorsa kevésbé dokumentált. Nagy valószínűséggel március végén a kemesmáli erdőben álcázva visszamaradt, majd április 3-án a szovjet vonalak mögül kitorva, a német alakulatokat támogatva – amelyek dél felé támadtak a falura –, részt vett Vasszentmihály visszafoglalásában. A sikeres akció után áthaladt a határsávon, további sorsa azonban ismeretlen.

A 102-ES PÁNCÉLVONAT

A 102. számú szerelvény, 1944. szeptember 6-án részt vett a 2. magyar hadsereg támadásában. Sikerült a támadó páncélos hadosztállyal szembeni román védelem mögé kerülve elfoglalnia, és az erősítés beérkezéséig tartania a



6. ábra. A Magyar Királyi Honvédség I. világháborús építésű, 102. számú páncélvonata, az ún. lapos szerelvény, és személyzete (Fotók: a) HM HIM, 66256, b) [3], 201. o.)

további hadmozdulatok szempontjából igen fontos Maroshidat.

A továbbiakban marosvásárhelyi támaszpontjáról járőrszolgálatba állt egészen szeptember 28-ig, amikor fedezte a várost kiürítő magyar és német csapatok visszavonulását. A pálya megsemmisülése miatt csak keleti irányban közlekedhetett tovább, így elszakadva a többi alakulattól több napig nem tudtak a sorsáról. Előkerülése után először Dunakeszi térségében állomásozott, majd Székesfehérváron át Érsekújvárra vezényelték.

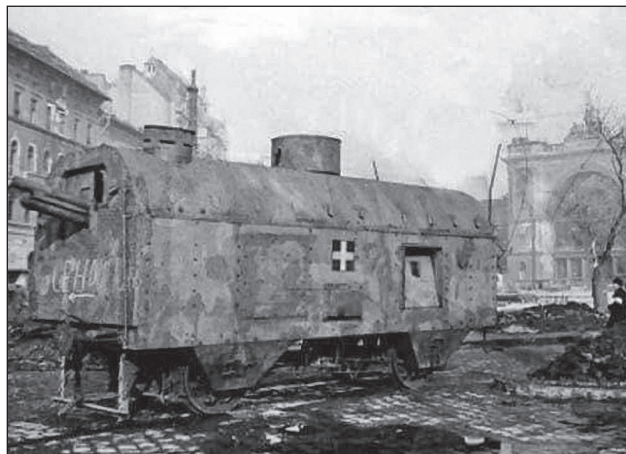
November végén a vonatot visszavezényelték a Dunántúlra, de december 4-én Pincehelynél már találatot kapott, és ismét Székesfehérvár felé vontatták javításra. Karácsony idején Tatabánya környékén folytatott járőrszolgálatot, majd január 8-án bekapcsolódott az 5. SS páncélos hadosztály támogatásába, hogy segítse a Budapest felé érkező felmentő csapatok előrenyomulását. Feltehetően a harcok során semmisült meg, de erről a tényről nem maradtak fenn dokumentumok.

A 103-AS PÁNCÉLVONAT

A 103. számú vonat 1944. november 6–11. között a Vecsés–Monor, valamint a Rákoskeresztúr–Mende vasútvonalakon vett részt harci bevetéseken, támaszpontja a kőbányai teherpályaudvar volt. Ezután Sárbogárdra vezényelték, és onnan kiindulva több bevetésben vett részt Cece, Vajta és Sárbogárd térségében. December 5-én Sárbogárd kiürítésekor leégett, majd Óbudára vontatták javításra. Végül 15-én, német parancsnokság alatt nyugat



7. ábra. A Magyar Királyi Honvédség 103. számú páncélvonata, az ún. magas szerelvény (Fotó: HM HIM, 66253)



8. ábra. A 103. számú páncélvonat egyik kocsija a Keleti pályaudvarnál 1945-ben (Fotó: [3], 246. o.)

felé elhagyta az országot. További sorsa ismeretlen, feltehetően még 1945-ben bevetették partizánok ellen Horvátországban.

VÉGSZÓ

A magyar vasútmérnökök és a MÁV szakemberei az Osztrák–Magyar Monarchia idején olyan maradandó terveket készítettek és valósítottak meg, amelyek nyomán a páncélvonatok még a II. világháborúban is aktívan harcoltak a Magyar Királyi Honvédség kötelékében.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Éder Miklós kézirata és hagyatéka a Hadtörténeti Intézet és Múzeum Hadtörténelmi Levéltárából;
- [2] Bonhardt Attila, Sárhidai Gyula, Winkler László. *A magyar királyi honvédség fegyverzete* Budapest: Zrínyi Kiadó, 1992, 177–194. o.;
- [3] Rónaföldi Zoltán. *Páncélvonataink 2. kötet. A Tanácsköztársaságtól a II. világháború végéig.* Magyar Elektronikus Könyvtár, 2016. <http://mek.oszk.hu/16400/16461/16461.pdf>;
- [4] „Páncélvonat” in *Magyarország a második világháborúban, Lexikon A–ZS.* Arcanum Adatbázis Kft. <https://www.arcanum.hu/hu/online-kiadvanyok/Lexikonok-magyarorszag-a-masodik-vilagaboruban-lexikon-a-zs-F062E/p-q-F0CB5/pancelvonat-F0CCF/>;
- [5] Paul Malmassari. *Armoured Trains: An Illustrated Encyclopedia 1825–2016*, Naval Institute Press, 2016.

(Fotók a szerző gyűjteményéből)