

A múlt, a jelen és a jövő fegyverei

HADITECHNIKA

2021/3

LV. évfolyam 3. szám

Ára 520 Ft



**Gidrán – új MRAP harcjármű
a Magyar Honvédségben**



A MAGYAR HONVÉDSÉG MŰSZAKI-TUDOMÁNYOS ÉS ISMERETTERJESZTŐ FOLYÓIRATA

2021/3. szám.
LV. évfolyam

Tulajdonos:

Bozó Tibor vezérőrnagy
(MH TP parancsnok)

A szerkesztőbizottság elnöke:

Dr. Porkoláb Imre ezredes
(MCC Vezetőképző Akadémia, igazgató)

A szerkesztőbizottság alelnöke:

Bárány Zoltán Gábor ezredes
(MH TP parancsnokhelyettes)

Főszerkesztő:

Prof. dr. Padányi József vezérőrnagy DSc
(NKE HHK KMDI iskolavezető)

A szerkesztőbizottság tagjai:

Benkó Imre
(HM CURRUS ZRT. és HM ARMCOM ZRT.)
Dr. Both Előd
(Magyar Asztronautikai Társaság)
Dr. habil. Gyarmati József alezredes (NKE HHK)
Prof. dr. Haig Zsolt ezredes (NKE HHK KMDI)
Dr. Hajdú Ferenc ezredes (MH MI)
Kaposvári László dandártábornok
(MHP LGCSF)
Prof. dr. Kiss Péter
(Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem)
Prof. dr. Kovács László dandártábornok
(MHP HSZ [kibervédelmi])
Dr. Koller József dandártábornok (MH 86. SZHB)
Könczöl Ferenc ezredes (MH 12. ALRE)
Lengyel Csaba ezredes
(MHP HSZ [szárazföld])
Magyar Ferenc ezredes (ITM)
Dr. Németh András alezredes (NKE HHK)
Prof. dr. Rohács József CSc. (Budapesti
Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem)
Solymosi Ferenc ezredes (MH TTP)
Szakácsi István alezredes
(MHP HSZ [logisztika])
Dr. Trembeczki László András (HM EI ZRT.)

Lektori bizottság elnöke:

Dr. Keszthelyi Gyula ny. dandártábornok (MKLE)

Felelős szerkesztő:

Végyvári Zsolt alezredes (MH MI)

Szerkesztő:

Rojkó Annamária tanácsos
(MH TP, MŰOSZ, TÚK)

Katonai szerkesztő:

Druzsín József őrnagy
(MH TP, MHTT, TÚK, MKLE)

Úrtechnika rovatvezető:

Dürr János Béla MSc (MH MI, TÚK)

Szerkesztőségi munkatársak:

Fi Károly Ferenc tanácsos munkatárs
Rózsáné Drahos Gabriella munkatárs
Szabó András munkatárs
(DOI, Facebook adminisztrátor)

Kiadja

a Honvédelmi Minisztérium Zrínyi Térképészeti
és Kommunikációs Szolgáltató Közhasznú
Nonprofit Kft.

Székhely: 1087 Budapest, Kerepesi út 29/B

Telephely: 1024 Budapest,

Szilágyi Erzsébet fasor 7-9.

Postacím: 1276 Budapest 22, Pf. 85

Telefon: 336-2030, Fax: 336-2035

FÓKUSZBAN

Dr. Óvári Gyula – Fehér Krisztina:
Repülőgépek elektromos
meghajtása – szükségyszerűség
kompromisszumokkal IV. rész 17



Nagy Imre: Felfegyverzett
gépjárművek alkalmazása
az afrikai és más helyi
konfliktusokban II. rész 31



Ocskay István – Vágner Szabolcs:
Gidrán – egy növelt akna-
védelemmel rendelkező
harcjármű megjelenése a
Magyar Honvédségben I. rész 57



Tömböl László – Böcz Lajos
Lóránt – Juhancsik János:
A földi telepítésű légvédelem
új vezetési rendszere 64



TANULMÁNYOK

Balajti István: Korszerű
elektronikai harceszközök
hatása a rádiólokátor
rendszerekre 2

Dr. Németh András – Virágh
Krisztián: Virtuális valóság
és haderő – technológiai
hátér II. rész 8

Ing. Nikola Chovančíková –
prof. Ing. Zdeněk Dvořák –
PhD., doc. Ing. Bohuš Leitner,
PhD.: Safety indicators as a
basis for increasing
the resilience of critical
infrastructure 25

NEMZETKÖZI HADITECHNIKAI SZEMLE

Vincze Gyula: A NATO VJTF-be
felajánlott Bundeswehr
erők újgenerációs
szoftverrádiói 35

Czikora Zoltán: A Donauwörth-i
Airbus gyár II. rész 39

ÚRTECHNIKA

Dr. Both Előd: Holdautók és
marsjárók I. rész 44

HAZAI TÜKÖR

Bárány Dániel – Rembeczki
Szabolcs: Radarberendezések
középfrekvenciás impulzus-
kompressziós adójel-generáló
és vevő-jelfeldolgozó
rendszere 50

HADITECHNIKA-TÖRTÉNET

Őze Zoltán: Új szakcsapat
születése az
I. világháborúban:
a vegyvédelem 70

Olvasószerkesztő: Kádár M. György ■ **Nyomdai előkészítés:** PGL Grafika Bt.

Nyomtatás: HM Zrínyi Nonprofit Kft. ■ **Felelős vezető:** Kulcsár Gábor ügyvezető

A **Haditechnika** kéthavonként nyomtatásban megjelenő folyóirat.

A szerkesztőség postacíme:

Budapest, 1885 Pf.: 25. ■ Telefon: 224-8306 ■ haditechnika@hm.gov.hu.

<https://haditechnika.hu>; <https://www.facebook.com/HTFolyoirat/>

INDEX: 25381 ■ ISSN 0230-6891 (Nyomtatott) ■ ISSN 1786-996X (Online)

Balajti István*

Korszerű elektronikai harceszközök hatása a rádiólokátor rendszerekre

A TÜZÉRSÉG TRÓNFOSZTÁSA

Egy Napóleonnak tulajdonított mondás szerint: „A tüzérség a csatateret királynője”. A haditechnika fejlődésével a megívott csaták sikeres kimenetele tekintetében a tüzérség szerepe jelentősen átalakult és egyre gyakrabban merült fel a kérdés, hogy más haderőnek és fegyvernemnek pl. a légierő, a páncélozott gyalogság vagy a napjainkban népszerű kiberhadviselés átveszi, vagy már át is vette ezt a szerepet. A szerző, nem vitatva a különböző fegyvernemek fontosságát és hatóerejük növekedésében rejlő előnyöket, a siker döntő elemét az együttműködésük szinkronizálásában és pontos valós idejű összehangolásában látja. „A rádióelektronika terjedésével a REH¹ feladata lényegesen megnőtt, tevékenysége kiterjedt a kézifegyverektől a stratégiai atomeszközökig (űrfegyverekig), a katonáktól a hadműveleti-harcászati magasabb egységekig. Aktív vagy passzív eszközeivel és rendszabályival átfogja a hadsereg teljes egészét. Ezért a REH megítélésében új szemléletet és gyakorlatot kell követni.” [1]

A második világháború idején még elegendő volt, ha a fegyvernemi parancsnokok az „egyeztessük óráinkat” felszólítással zárták a hadművelet megkezdésének eligazítását. Napjainkban a sikerhez már a katonai tevékenységek mikro- (10⁻⁶), és/vagy nano- (10⁻⁹) másodperces szintű összehangolása szükséges. Néhány esetben a pontosság ennél nagyságrendekkel nagyobb, pl. a stratégiai titkosítást végző berendezések esetén gyakori követelmény az atomórák pontossága. Ezt az „idillt”, költséghatékonyan csak az elektronikai hadviselés eszközeivel lehet megbontani, a szembenálló (lefogni kívánt erők) fél hatékony

együttműködését minimalizálni, illetve az elvárt védelmet biztosítani. Az ehhez szükséges katonai elvárások megvalósításához a szakemberek napjainkra hatékony eszközöket, újfajta eljárásokat dolgoztak ki, amelyek kiegészítik, és a mesterséges intelligencia különböző megvalósítási szintjein „szinkronizálják” a különböző irányokból tervezett elektronikai támadást, valamint a védelmet. A tanulmány röviden áttekinti az elektronikai hadviselés (EHV) közel-múltban fontosnak tartott elemeit, összefoglalja és javaslatokat fogalmaz meg a szerző szerint kiemelten kezelendő kérdéskörökre és kutatási irányokra.

AZ ELEKTRONIKAI HADVISELÉS LEGFONTOSABB JELLEMZŐI

Az USA Védelmi Minisztériuma folyamatosan frissíti a katonai szakterületek elnevezéseit és fogalmait, ugyanakkor a szerző hadmérnöki nézőpontból, egyszerűsítve elemzi a kihívásokat, ahol a régebbi elnevezések és fogalmak ismerete szélesebb körben terjedt el, ezért célszerű a régebbi és az újabb szemléletek „egyesítése”.

Napjainkban az EHV tevékenységeit a közös elektromágneses spektrumhasználat (Electro Magnetic Spectrum Operations – EMSO) 1 MHz-től 1 THz-ig – az optikai és infravörös tartományokat is beleértve – tervezése, koordinálása és kezelése jellemzi. [2] Az EHV kapcsolódó tevékenységek „hagyományos” légi-, tengeri, alacsony műholdpályákról, szárazföldi mobil/fix települési és a megtámadott ellenfélhez viszonyítva közeli, vagy távoli körzetekből is történhetnek. Az EMSO használatának sokszínűségét, kiterjedését és komplexitását szemlélteti az 1. ábra.

ÖSSZEFOGLALÁS: Az elektronikai hadviselés (EHV) a rádió és a rádiólokátorok elterjedésével, valamint katonai műveletekben történő alkalmazásával a 20. század elején és középső évtizedeiben jelent meg. Megelőzte a kiberhadviselést, amelynek célja egy állam vagy egy szervezet információs rendszereinek stratégiai szintű, katonai célú, szándékos támadása. E tevékenység csak évtizedekkel később, a számítógépek és az internet feltalálása nyomán indult fejlődésnek. Napjainkban vannak átfedések az elektronikai- és a kiberhadviselés között, de kulcsfontosságú különbségek is megfigyelhetők. Míg a kiberhadviselés nem lehet sikeres a jól megtervezett és védett, a globális kibertérrel csak nagyon korlátozott adatkapcsolattal rendelkező katonai rendszerek ellen, addig a korszerű elektronikai harc (EHC) rendszerek behatolhatnak az ilyen típusú „erődítményekbe”. 2017-ben, egy év előkészítés után, indult el a Magyar Honvédség elektronikai hadviselés-fejlesztési programja, amelynek célja a rádióelektronikai felderítő és zavaróképesség megújítása. A Magyar Honvédség modernizációjának sikere alapvetően az újonnan megjelenő műszaki lehetőségek és katonai alkalmazások, szakmai kiszolgálásától és felhasználásától függ.

KULCSSZAVAK: elektronikai hadviselés (EHV), kiberhadviselés, rádiólokátor, DRFM (Digitális Rádió Frekvencia Tárolás)

ABSTRACT: Electronics Warfare (EW) emerged in the early and middle decades of the 20th century with the spread of radio and radar and their use in military operations. It therefore predates cyberwarfare (CW), which emerged decades later with the invention and spread of computers and the internet to disrupt the activities of a state or organization, especially the deliberate attacking of information systems for strategic or military purposes. Today, some overlap exists between EW and CW, though there is a key difference between the two. While the CW could not be successful against well defended, designed and separated military systems that have very limited data connection to the global cyberspace, the advance EW systems shall penetrate these types of “Fortifications”. In 2017, after a year preparation, the Hungarian Army’s electronic warfare development program was launched, aimed to renew radio electronic reconnaissance and jamming capability. The success of the Hungarian Army modernization basically depends on the understanding, its professional service and usage of the newly emerging technologies and their military applications in the battlefield.

KEY WORDS: Electronics Warfare (EW), cyberwarfare (CW), radar, DRFM (Digital Radio Frequency Memory)

* Oktató, NKE HHK Katonai Műszaki Doktori Iskola. ORCID: 0000-0003-3566-2904



1. ábra. Elektronikai hadszíntér – elektromágneses „káosz” környezet [3]

Space Operations – űrben történő tevékenységek; Missile Warning – rakétaindítás jelzése; SATCOM – Satellite Communication – műholdas kommunikáció; National Positioning, Navigation, and Timing (PNT) – nemzeti helymeghatározás, navigáció és időzítés; ISR – Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance – hírszerzés, megfigyelés és felderítés; Commercial – kereskedelmi; EO/IR/RF Sensors – Electro-Optical/Infra-Red/Radio-Frequency Sensor – elektrooptikai/infravörös/mikrohullámú érzékelők; Data Link – adatkapcsolat; Air Operations – légi műveletek/tevékenységek: Synthetic Aperture Radar – szintetikus apertúrájú rádiólokátor; IO Broadcast – közlemények továbbítása; Command Guided Missiles – parancsvezérelt rakéták; Comms EA – Communications Electronic Attack – távközlési eszközök elektronikus támadása; RADAR EA – rádiólokátorok elektronikus támadása; Decoy – csalétek; IFF Signals – saját/idegen felismerés jelei; Maritime Operations – tengeri műveletek/tevékenységek: Laser Comms – lézeres távközlés/kommunikáció; High Power Laser – nagy teljesítményű lézer; Anti-radiation Missiles – önráveztető rakéták; Land Operations – szárazföldi műveletek/tevékenységek: GPS Aided Bombs – Global Positioning System – globális helymeghatározással támogatott bombák; GPS Jammer – GPS zavaró; GPS Aided Artillery – GPS támogatású tüzérség; Search Radar – célkereső rádiólokátor; Tracking Radar – útvonalképző rádiólokátor; Laser Guided Munition – lézervezérelt lövedék; Laser Dazzle – lézer álcázás; hőkövető lövedékek; SATCOM Jammer – SATCOM zavaró; HF Communications Jammer – HF-frekvenciás kommunikációt zavaró; SIGINT – Signals intelligence – rádiófelderítés; FLIR Sensor – hőkamerás érzékelő; civil WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) – polgári hozzáférésű világméretű mikrohullámú inter-operativitás; RCIED (Radio-Controlled Improvised Explosive Device Link) – rádióvezérelt robbanószerkezet-kapcsolat; Civil Cellular – polgári mobiltelefon-rendszerek; High Power Microwaves – nagy teljesítményű mikrohullámok; Cyber Operations – kiberhadviselés

Az EHV három egymást kiegészítő, valamint egymást részben átfedő területre osztható [4,5]:

- Elektronikai támogató tevékenység (ESM – Electronic Support Measures), a Magyar Honvédség doktrínájának fogalomhasználata szerint elektronikai megfigyelés: a kisugárzott elektromágneses energia felkutatására, elfogására, elemzésére és az adatok ismeretek gyűjtésére, értékelésére tett intézkedések. Az elektronikai megfigyelés célja az információ kiaknázása a katonai műveletek támogatása érdekében.
- Elektronikai támadás (ECM – Electronic Counter Measures): az elektromágneses spektrum ellenség általi hatékony használatának megelőzésére vagy csökkentésére tett intézkedések.
- Elektronikai védelem (ECCM – Electronic Protection/Counter-Counter Measures): célja az ellenség elektronikai támadásainak és elektronikai felderítésének kiküszöbölése vagy hatékonyságának csökkentése.

Alkalmazását behatárolják az eszközök beszerzési és a modernizációs követelményei, pl. információs és adatátviteli csatornák, radarok ECCM performanciái, valamint az azok alkalmazását meghatározó harcászati-hadművelti követelmények. Ez utóbbiak katonai alkalmazásához – Szun-Ce szavait idézve – szükséges:

o *Stratégia*, taktika nélkül a leglassabb út a győzelemhez.

o *Taktika*, stratégia nélkül csak zaj a vereség előtt. [15]

Magyarországon, az 1980-as években, a Videoton Rádióelektronikai Gyár-egységében, a Mechanikai Laboratóriumban és a Híradástechnika Szervezetben korszerű, felderítő- és zavarókomplexumokat fejlesztettek hazai és külföldi felhasználók számára. [6] Ezek az eszközök, nemzetközi összehasonlításban is a kor kiemelkedő színvonalán jegyzett integrált elektronikai támogató tevékenység és elektronikai támadás képességekkel rendelkező rádióelektronikai rendszerek voltak. A történelem „fintora”, hogy a cseh passzív felderítő- és radarrendszereket napjainkban már a világ élvonalába tartozó termékek között tartják számon, míg a hazai EHV-val kapcsolatos K+F+I (kutatás + fejlesztés + innováció) tevékenység csak most kezd újraéledni. [7] Az újrakezdés legnagyobb problémája, hogy ezek a feladatok felkészült szakembergárdát, egyetemi végzettségű vagy doktori fokozatokkal rendelkező hadmérnökök és parancsnokok alkalmazását követeli meg, akiknek a hazai kiképzése napjainkban igen nehéz feladat.

A témakörre vonatkozó kiemelt figyelem elvárásait, költségeit és a megvalósításra kifizetőt határidővel szemléltetik az USA Kongresszusának készült jelentései. A legfrissebb dokumentum a 2019 és 2023 közötti EHV-eszközök kutatás-fejlesztésére és a beszerzésükre vonatkozik. [8] A haditengerészet, a légierő, a szárazföldi csapatok, a DARPA² és más kutatóintézetek EHV-eszközök fejlesztésére 5 év alatt 25,8 milliárd dollárt költenek, míg a beszerzésre 22,6 milliárd dollár áll rendelkezésre. A szerző szerint részben az EHV témakörébe tartozik a haditengerészet irreguláris és terrorellenes tevékenysége, mivel kihasználhatja az elektronikai támogató tevékenység nyújtotta előnyöket, és kiterjeszheti az EHV lehetőségeit. [9] A szárazföldi csapatok EHV-feladatait és projektjeit foglalja össze, illetve tekinti át [10] a jelentés. Ezek közül a legfontosabbak a rogtönzött robbanószerkezetek, a drónok és egyéb pilóta nélküli légi eszközök, valamint a kommunikációs és radarrendszerek elleni zavaróadók. (Az eszközök részletesebb áttekintésére egy későbbi tanulmányban kerül sor.) Az USA elektronikai hadviselési képességei közül a haditengerészet és a légierő a legütőképesebb. Háromféle, elsődlegesen elektronikai támadásra készült repülőgéptípussal rendelkeznek, amelyek a Navy EA-18G Growler, (lásd 2. ábra) az Air Force EC-130H





2. ábra. Az elektronikai támadásra optimalizált Navy EA-18G Growler repülőgép [11]



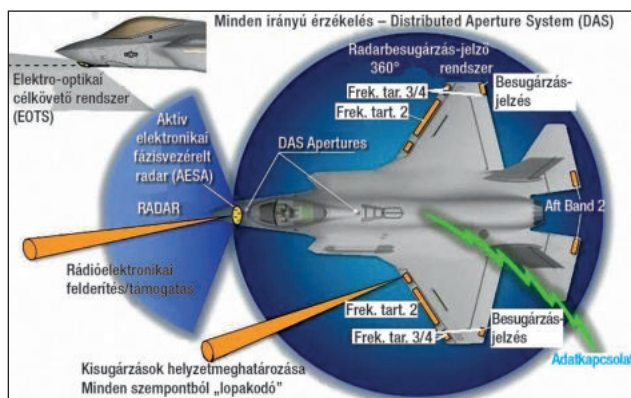
5. ábra. Újgenerációs zavarókonténer [11]



3. ábra. Az Amerikai Egyesült Államok Légierőjének EC-37B Compass Call Re-Host repülőgépe [11]

Compass Call, és az Air Force EC-37B Compass Call Re-Host (3. ábra). A negyedik repülőgéptípus, az F-35 Joint Strike Fighter úgynevezett „magnövelt”, „rendszerbe integrált” képességekkel rendelkezik, amely képességekről csak nagyon kevés tény hoztak nyilvánosságra (4. ábra). Az EA-18G és az EC-130H kifejezetten elektronikai hadviselési támogató feladatokra épített repülőgépek. Az előbbi kísérő (escort) zavarásra, míg az utóbbi távoli (stand-off) zavarásra alkalmas. Az F-35 azonban más szerepkörbe tervezett repülőgép, de önvédelmi EHV-képességgel rendelkezik. Külső felfüggesztésként használatos az AN/ALQ-99 zavarómodul és az újgenerációs zavaróadó konténer (Next Generation Jammer) (5. ábra), valamint a „minia-

4. ábra. Az F-35 Joint Strike Fighter elektronikai hadviselésre optimalizált rendszerei [11]



túr légi indítású csapda” zavaróadó (Miniature Air Launched Decoy-Jammer). [11] A drága EHV-eszközrendszerek kiegészülnek az elektromágneses spektrum szűk tartományainak figyelésére, és az elfogott jelek modulált visszasugárzására optimalizált berendezésekkel is. Ezek az aránylag olcsó DRFM- (Digital Radio Frequency Memory) eszközök kis tömegük miatt többek között drónok függesztménnyeként is tömegesen bevethetők.

A légtérelenőrzést ellátó radarrendszereket gyakran az integrált légvédelem „szemének” nevezik, amelyet, ha „megvakítanak”, illetve „megtévesztenek”, a harctevékenységek sikere jelentősen befolyásolható. Általánosan elfogadott tény, hogy a rádiólokátorok céltárgydetektálási zónái „fehérzaj” típusú aktív zavarással hatékonyan csökkenthetők. Az előzőekben felsorolt zavaró rendszerek légtérelenőrző radarokra gyakorolt lehetőségeit elképzelt EHV-helyzeteken keresztül szemlélteti az 1. táblázat. Legyen a zavaróadó átlagteljesítménye „szinte jelentéktelen” 1 W, amely adás-vétel kapcsolón keresztül csatlakozik a 10 dBm nyereséggel rendelkező antennához. Ez 10 W effektív kisugárzott teljesítményt (ERP – Effective Radiated Power) jelent a radar frekvenciasávjában. (Az említett példa megfelel egy drónra szerelhető DRFM-eszköz átlagosnak számító teljesítményének.) A zavarás a radar pillanatnyi/üzemi sáv szélességében (PS) a leghatékonyabb, mivel ekkor a legnagyobb a zavarás jelleteljesítmény-sűrűsége. Ha a radar és a zavaróadó pillanatnyi sáv szélessége megegyezik pl. 2,5 MHz, akkor ez 4 W/MHz ERP-t jelent a radar „elvakítása” szempontjából. Hamis céltárgyaknak a radar főnyalábjában történő szimulálásához azonban, ennek a teljesítménynek az ezredrésze is elegendő, mivel „csak” a radarimpulzust kell visszasugározni. A zavar jelleteljesítmény-sűrűsége jelentősen csökken, ha a radar szórt spektrum (SS) üzemmódban képes működni, mivel akkor a zavaróadó teljesítménye eloszlik az egész üzemi frekvenciasávban. Pl. legyen: „L”, „S”, és „VHF” sávú radarok esetén az üzemi frekvenciatartomány 200 MHz, 500 MHz és 80 MHz. Ennek következtében, szórt spektrum üzemmódban a zavaróadó hatásos teljesítménye az „L” sávban ERP = 0,05 W/MHz, az „S” sávban 0,02 W/MHz, míg a „VHF” sávban 0,125 W/MHz. Az ERP = 10 W fehérzajjal történő zavarás különböző típusú, „L”, „S” és „VHF”-sávú, a rádiólokátorok maximális céltárgydetektálási távolságára gyako-

1. táblázat. Különböző típusú zavarhelyzetek céltárgy-detektálásra gyakorolt hatása*

Szabványos céltárgy / Repülőgéptípus	R_{\max} [km] = 300 km, Szabadtér, $P_d = 0,8/P_{vi} = 10^{-6}$, Zavaradó: ERP = 10 Watt, helyzete = 300/100 km és 10/1 km								
	L (1,3 GHz) BW = 200 MHz			S (3,1 GHz) BW = 500 MHz			VHF (0,18 GHz) BW = 80 MHz		
	-	PS	SS	-	PS	SS	-	PS	SS
RCS = 1 m ² , Sw1 [km]	300	256/228 57/18	299/292 161/54	300	299/289 149/50	300/299 258/102	300	208/127 41/13	250/166 54/17
Airbus A320 [km]	531	251/301 100/32	529/517 282/94	447	445/432 220/74	447/446 384/150	791	542/329 107/35	657/430 141/46
Saab JAS-39 [km]	393	335/225 75/24	392/384 210/70	332	330/320 165/55	332/331 285/112	530	364/222 72/23	440/290 96/31
SR71/MiG-25 [km]	446	251/129 85/27	445/435 238/80	394	392/380 194/65	394/393 338/133	501	345/210 68/22	416/275 91/29
HyW [km]	224	191/118 43/14	223/218 121/40	171	171/166 86/28	171/171 148/59	300	208/127 41/13	250/166 54/17

Ahol: BW: sávszélesség, PS: pillanatnyi sávszélesség, SS: szórt spektrum/a radar üzemi sávszélessége, Airbus A320 RCS= (L: 10 m², S: 5 m², VHF: 50 m²), Saab JAS-39 RCS= (L: 3 m², S: 1,5 m², VHF: 10 m²), SR71/MiG-25 RCS= (L: 5 m², S: 3 m², VHF: 8 m²), HyW RCS= (L: 0,3 m², S: 0,1 m², VHF: 1 m²)

* A szerző radaregyenleten alapuló, Blake chart számításokkal készült saját táblázata a Haditechnika 2021/1. szám 6. oldalán megjelent 2. táblázat továbbfejlesztése.

rolt hatását szemlélteti az 1. táblázat. A zavaradó 300 km, 100 km, 10 km és 1 km távolságra található a radartól. Természetesen a vizsgált radarok műszaki paraméterei olyanok, hogy zavarmentes környezetben, a „szabvány céltárgyat”, amelynek hatásos radarkezesztmetszete (RCS) = 1 m², a céltárgy-fluktuáció típusa: Sw1) azonos távolságon, 300 km-en detektálják, azonos céltárgydetektálás minőségi elvárásokkal (P_d, P_{vi}) és 20,5 dB veszteséggel. A táblázatban szerepelnek a „szabvány céltárgy” mellett más valós céltárgyak legnagyobb hatásos radarkezesztmetszettel mérhető maximális, oldalról megvilágított céltárgydetektálási lehetőségei. (Ennek kb. a tizede a RCS, ha a valós céltárgy előlről kerül besugárzásra.) Az áttekinthetőség érdekében hasonlítsuk össze a „szabvány céltárgy” céltárgydetektálási sajátosságait a hiperszonikus fegyverek (HyW) hasonló lehetőségeivel. Zavarmentes környezetben az „L”, az „S” és a „VHF”-sávban üzemelő radarok a „szabvány céltárgy”-at 300 km távolságon detektálhatják, míg ugyanezek a radarok a hiperszonikus fegyvereket csak 224, 171, és 300 km-en. Ha célzott zavarást (PS) alkalmazunk a radarok ellen, 300 km, 100 km, 10 km és 1 km távolságról a „szabvány céltárgy” detektálhatósága: 256, 228, 57 és 18 km, míg a HyW detektálhatósága: 191, 118, 43 és 14 km az „L” sávban. Szórt spektrumban (SS) történő zavarás esetén ezek az értékek: 299, 292, 161 és 54 km, míg a hiperszonikus fegyverek detektálhatósága: 223, 218, 121 és 40 km. Az „S” és „VHF” sávra vonatkozó értékek már könnyen értelmezhetők.

A rádióelektronikai zavarás hatékonysága három csoportba sorolható: erős, közepes és gyenge. [4] Az 1. táblázatban jól látható, hogy egy drónra szerelhető kis teljesítményű zavaradó 10 km-es távolságon belül közepes és/vagy erős szinten képes csökkenteni a radarok céltárgydetektálási tereit. Ugyanakkor az újgenerációs, korszerű zavarókonténerek vagy egyéb mobil platformok 50 W/MHz, 100 W/MHz, esetleg a 200 W/MHz zavarójel-teljesítménysűrűséggel is jellemezhetők. Ezek az eszközök már 100, 300 km távolságról, esetleg alacsony műholdpályákról is hatékonyak. Ennek következtében a jelenleg üzemben lévő

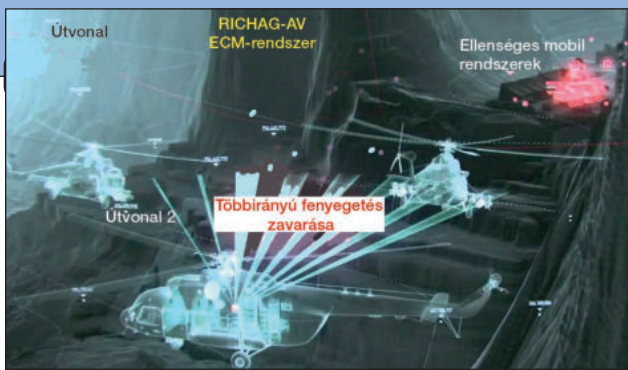
radarok céltárgydetektálási terei annyira lecsökkenthetők, hogy nem képesek az elvárt repülőgéptípusokat detektálni, útvonalba fogni, az útvonalakat fenntartani, és mint céltárgyakat azonosítani. További problémát okoz a különböző zavarási eljárások, módszerek vegyes alkalmazása.

A különböző hatékonysági mutatók értékelésére számos tanulmánykötet készült. Ugyanakkor hadmérnöki-harcászati szempontból felmerül a kérdés, hogy valóban csak ezek a kategóriák léteznek, vagy léteznek ennél korszerűbb rádióelektronikai zavarási módszerek, eljárások is. Gondoljunk például az aktív „lopakodó” technológiát alkalmazó repülőgépekre, amelyek jól láthatók a rádiólokátorokkal, de a radarimpulzus manipulálásával „eltűnhetnek”, ha ez a cél. Ezért folyamatosan vizsgálunk kell azokat a lehetőségeket, új vagy újszerű műszaki megoldásokat és alkalmazási módszereket, amelyek során a zavarás tényét az ellenséges elektronikai eszközök (pl. radarok, információcsatornák stb.) nem, vagy csak nehezen észlelhetik.

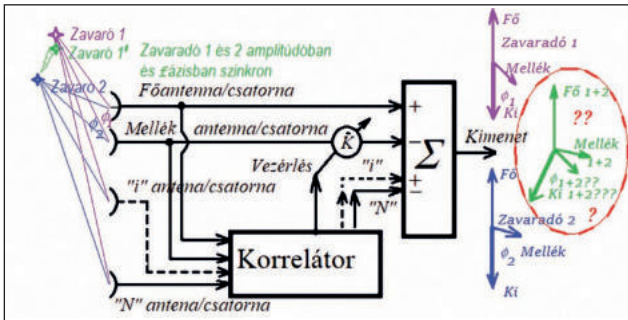
AZ EHV-RENDSZEREK FEJLESZTÉSI IRÁNYAI

Az aktív fázisvezérelt antennákkal (lásd az AESA jelölést a 4. ábrán) felszerelt repülőeszközök és konténerek napjainkban – a feladatok és a zavarási, megtévesztési lehetőségek hatékony alkalmazásának érdekében – már digitális adatkapcsolatban állnak egymással. Az aktív zavarás lehetőségeivel kapcsolatos előzőleg ismertetett sajátosságokból következik, hogy az ESM a több irányból érkező fenyegetéseket időben detektálja, elemzi, és a veszélyt felismerve ellenintézkedésekkel csökkenti azok hatását. A folyamat részletesebb elemzését mutatja a 6. ábra, ahol elektronikai támadás alkalmazással semlegesítik az ellenséges több irányból, azonos időben megjelenő fenyegetéseit.

Az EHV fejlődésének következő (a rádiólokátor felbontóképességén belüli) szintje az egymással időben szinkronban lévő, „pontoszerű” elektronikai támadórendszerek (pl. a 7. ábrán jelölt „Zavaradó 1” és „Zavaradó 2” platformok) „RF-jeleinek” amplitúdó- és fázisában való szinkronizálása. →



6. ábra. Több irányból érkező, különböző típusú fenyegetések elleni EHV-válasz [12]

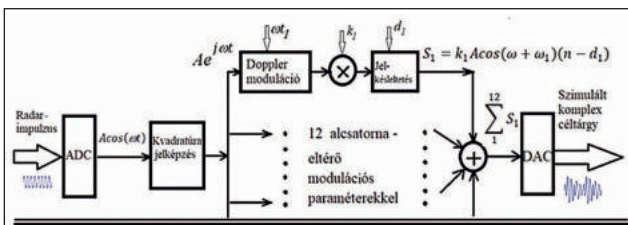


7. ábra. A térbeli aktív zavarásúrés elve [13]

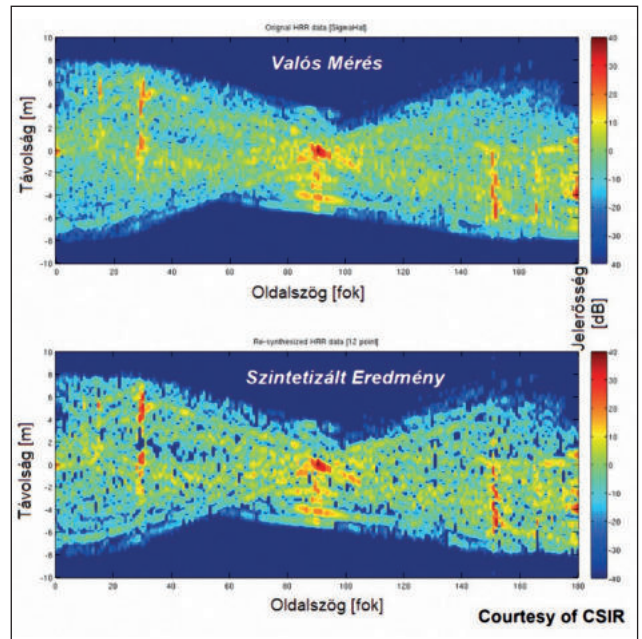
Ez utóbbi esetben (a rádiolokátor felbontóképeségénél jelentősen nagyobb) pontszerű elektronikai támadás már „térben kiterjesztett”, a rádiolokátorok mérési szabadságfokát meghaladó zavarási lehetőségekkel rendelkezik. Ezt szemlélteti a 7. ábra, ahol a „Zavaradó 1” (lila) és „Zavaradó 2” (kék) hagyományosan „pontszerű” a radar zavaróvédelmi rendszerei számára. Ezért a fő és segédcsatornákra érkező jelek fázisfutási különbsége „Korrelátorral” pontosan mérhető, és a zavarójelek teljesítménye a beérkezési szög és jelfeszültség ismeretében, adaptív vezérléssel (K) jelentősen csökkenthető. Természetesen csak abban az esetben, ha a radar segédcsatornáinak száma több mint a zavaróadók száma. Például 2 db, a radar számára nagy kitöltési tényezővel rendelkező „pontszerű” zavaradó jeleit, 3 db segédcsatornás rendszer már hatásosan kompenzálhatja; lásd a „Zavaradó 1” (lila) és „Zavaradó 2” (kék) „pontszerű” helyzetet szemléltető vektorokat a 7. ábrán. Ugyanez a védelmi rendszer már hatástalan a „térben kiterjesztett” „Zavaradó 1” (zöld) és „Zavaradó 2” (kék) amplitúdóban és fázisban szinkronizált zavarása esetén. Ezt szemlélteti a 7. ábra utolsó vektordiagramja, ahol a „Korrelátor” által képzett vektorok nem helyesek, hiszen azt a zavaróadók manipulálják. A probléma kiküszöbölésére növelni kell a radarok térbeli mérési szabadságfokát. Erre nyújtanak lehetőséget a multistatikus radarrendszerek.

A szerző szerint az elektronikai támadás legjelentősebb, és – szakszerű alkalmazás esetén – a leghatékonyabb, illetve a radarok és kommunikációs csomópontok számára a legveszélyesebb műszaki megoldása, a DRFM-eszközök széles körű alkalmazása. A DRFM általános felépítését szemlélteti a 8. ábra, míg a berendezés a 11. ábrán látható.

8. ábra. A DRFM működésének elve [14]



9. ábra. A radarimpulzus céltárgyról való visszaverődésének komplexitása [12]



10. ábra. A céltárgyról visszaverődött, mért, és a DRFM-eszköz által képzett radarjel [14]

Az antenna által vett radarimpulzus sávszűrés, -erősítés és analóg-digitális átalakítás (ADC) után digitális jelfeldolgozásra kerül. Ez minden esetben tartalmazza a „Kvadrátúra jelképzést”, a „Doppler-modulációt”, a sávkiterjesztést „ k_1 ”, a „Jelkésleltetést”, a radar számára szükséges céljel távolsági elhelyezését, valamint a digitális jelfolyam analóggá alakítását, erősítését, az adás-/vétel-kapcsoló után az antennára érkező jelnek a radar irányába történő visszasugárzását. DRFM-módszerekkel megoldható a napjainkban gyorsan terjedő képkalkotó radarok visszavert jeleinek manipulálása. Ebben az esetben a DRFM-eszköz a szimulált komplex céltárgy több, pl. „12 alcsona” eltérő modulációs paramétereit állítja be oly módon, hogy az a képkalkotó radar mérési pontosságával összemérhető. Ezek között található a céltárgy mikro-Doppler-jeleit moduláló csatornájel. A megoldandó feladat komplexitását szemlélteti a 9. ábra, amely a képkalkotó radarok számára fontos céltárgy-visszaverődéseket szemlélteti. Ezek a visszaverődések egyszerűbb esetekben a visszavert jel átlagjeltejesítményét leíró eloszlásfüggvények, pl. Marcum-, Swerling-modellekkel jellemezhetők. A képkalkotás hitelességéhez azonban a részleteket pontosan azonosító, a jel hullámterjedési és



11. ábra. Magyar gyártmányú DRFM-eszköz
(Fotó: Balajti István, 2016)

polarizációs tulajdonságait frekvenciatartományonként a megvilágítási szög függvényében tartalmazó mérési eredmények szükségesegek. A 10. ábra a megvilágítási lehetőségek eredményességét mutatja. Az ábra felső része a képalakító radarral mért valós eredményeket szemlélteti, míg az alatta lévő „csak” egy DRFM által létrehozott manipuláció. A különbségek kiértékeléséhez már mesterséges intelligencia alkalmazása szükséges. A 11. ábra mérés közben mutat egy magyar gyártmányú DRFM-eszközt.

Pontos adatok nem állnak rendelkezésre, de feltételezhető, hogy a DRFM-eszközök beépíthetők a ún. újgenerációs zavaradó konténerekbe, valamint a miniatűr légi indítású csapdába is. Ismerve a 10. ábrán bemutatott DRFM-radarjel modulálás hatékonyságát a nagy felbontású „viszszavert” radarjel-előállítás területén, joggal feltételezhető az elektronikai támadás alkalmazási területeinek bővülése. Ezért békében is fel kell készülni az olyan helyzetekre, ahol csak néhány fontos céltárgy „hiányzik” a teljes és azonosított légi helyzet környezetéből. Ugyanakkor krízis- és háborús helyzetekben a megtévesztéseknek jelentős hatása lehet a légi helyzet megítélésére, hiszen „közepes” és „erős” zavarviszonyok között a radarok számára szinkronban repülő hamis kötélekek imitálhatók a fő támadási irányok, csapatmozgások leplezésére.

ÖSSZEGLÉS

A tanulmány érzékeltette, hogy a korszerű EHV-alkalmazások napjaink légvédelmi rendszerei számára komoly kihívásokat jelentenek. Az elektronikai támadások a meglévő légtérelőőrző radarrendszerek eddig elvárt képességeit jelentősen meghaladó lehetőségekkel és harcászati-hadművelti alkalmazásokkal rendelkezhetnek. Megállapítható, hogy a kiberhadviselés által kifejlesztett és alkalmazott védelem lehetőségei rendkívüli mértékben beszűkülnek, mivel a *harctéri katonai rendszerek szinte teljesen izoláltak a polgári számítógépes hálózatoktól*. Ugyanakkor a katonai rendszerekben alkalmazott technológia és a döntéselőkészítő rendszerek automatizálása ahhoz vezetett, hogy a folyamatok ismeretének mélységében az elektronikai támadásrendszereinek hatékonysága rendkívüli mértékben megnőtt. Ezért alkalmazásuk elkerülhetetlen az elszigetelt katonai rendszerek leküzdéséhez. Az elektronikai támadás hatékony alkalmazását mindenekelőtt a békében is teljes hatékonysággal üzemeltetett elektronikai támogató tevékenység – ezen belül a rádiófelderítés – határozza meg, ezért ennek az EHV-területnek a fejlesztése elsődlegesen fontos.

HIVATKOZOTT IRODALOM

- [1] Csatári Sándor. *A rádióelektronikai harc helyzete és továbbfejlesztésének fő iránya a Magyar Néphadse-
rgekben* Doktori értekezés, 1984. II. kötet 108. o.;

- [2] Department of Defense. *Joint Publication 3-13.1, Electronic Warfare*, 2012 02.08, p. I-15, letöltés: 2021. 01. 06. https://www.globalsecurity.org/military/library/policy/dod/joint/jp3_13_1_2012.pdf és <https://publicintelligence.net/jcs-ew/>;
- [3] Malte von Spreckelsen. *Electronic Warfare – The Forgotten Discipline*, Joint Air Power Competence Centre, 2020, letöltés: 2020.10.05. <https://www.japcc.org/electronic-warfare-the-forgotten-discipline/>;
- [4] Haig Zsolt, Kovács László, Ványa László, Vass Sándor. *Elektronikai hadviselés*, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2014.;
- [5] Horváth József. „Elektronikai hadviselés a Magyar Honvédségben” Hadmérnök IX. évfolyam 1. szám (2014. március), letöltés: 2020.09.20. http://hadmernok.hu/141_17_horvathj.pdf;
- [6] Gerlits Péter. „Elhalt fejlesztések” lazarbibi.blog.hu Letöltés: 2020.09.20. https://lazarbibi.blog.hu/2016/10/15/elhalt_fejlesztsek;
- [7] Horváth József Sándor. *A Magyar Honvédség Elektronikai Hadviselési Képességének Fejlesztése Szoftverrádiók Alkalmazásával*, Doktori Értekezés Tézisfüzete, Bp.: NKE Műszaki Doktori Iskola, 2018. Letöltés: 2020.09.20. https://www.uni-nke.hu/document/uni-nke-hu/horvath_jozsef_sandor_tezisfuzet_2018.pdf;
- [8] J. R. Hoehn. *U.S. Military Electronic Warfare Program Funding: Background and Issues for Congress*, Congressional Research Service, Updated April 16, 2020;
- [9] J. R. Hoehn. *Navy Irregular Warfare and Counterterrorism Operations: Background and Issues for Congress*, Congressional Research Service, Updated December 17, 2019.;
- [10] J. R. Hoehn. *Ground Electronic Warfare: Background and Issues for Congress*, Congressional Research Service, Updated September 17, 2019;
- [11] J. R. Hoehn. *U.S. Airborne Electronic Attack Programs: Background and Issues for Congress*, Congressional Research Service, Updated May 14, 2019;
- [12] A. De Martino. *Introduction to Modern EW Systems*, Artech House, 2018;
- [13] 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*, London, 27-29 August 2019, <https://www.defenceiq.com/events-militaryradar/speakers/istvan-balajti>;
- [14] R. S. Andrews. *Digital Radio Frequency Memory Technology & Techniques for EW*, <http://tangentialink.com/wp-content/uploads/2014/03/7.-Digital-Radio-Frequency-Memory-Technology-Techniques-for-EW-Robert-Andrews.pdf>;
- [15] Szun-Ce. *A hadviselés törvényei*. Fordította: Tőkei Ferenc <https://mek.oszk.hu/01300/01345/01345.htm#terv>, letöltés: 2021.01.10.

JEGYZETEK

- 1 REH – Rádióelektronikai harc (napjainkra: elektronikai harc – EHC; tágabb értelmezésben: elektronikai hadviselés – EHV)
- 2 Defense Advanced Research Projects Agency (www.darpa.mil) az Amerikai Egyesült Államok Védelmi Minisztériumának kutatási és fejlesztési ügynöksége, amely a korszerű katonai technológiák fejlesztéséért felelős.

Virtuális valóság és haderő – technológiai háttér **II. rész**

A különböző alternatív valóságok alkalmazása alapvetően az emberi érzékszervek becsapásán alapszik, amelyek hatásfoka mindig az alkalmazott módszerektől, illetve technikai megoldások fejlettségétől függött és függ napjainkban is. Bár a tanulmány előző részében bemutatott kezdetleges megoldások, amelyeket az évszázadok során különböző művészeti ágak mesterei alkalmaztak, a maguk korában zseniálisak voltak és lenyűgözték a szemlélőket, a technológia fejlődése csak a 21. században tette lehetővé olyan technikai eljárások, eszközök, illetve rendszerek kidolgozását, amelyek a lehető legtöbb érzékszervünk bevonásával alkalmasak az immerzív virtuálisvalóság-élmény kiváltására. A fejlődéstörténeti áttekintést követően, a szerzők a tanulmány második részében a VR technológiai háttérét és technikai megoldásait mutatják be annak érdekében, hogy az érdeklődő olvasók kellő ismeretek birtokában értékelhessék a különböző célú felhasználási lehetőségeket.

A 21. SZÁZAD

Az információs technológia csak századunkban érte el azt a fejlettségi szintet, amely lehetővé teszi, hogy a korábbi évtizedek innovációi a gyakorlatban is hatékonyan felhasználható technikai megoldásokban öltsenek testet, és piaci részesedésüket az élet számos területén folyamatosan növelve váljanak húzóágazatok kialakulásának alapjává. A fejlődés dinamikájának leírására korábban megalkotott törvények nagyságrendileg helyesnek bizonyultak. A Moore-törvény kimondta, hogy az integrált áramkörök komplexitá-



15. ábra. A Control VR [22]

sa másfél évente, a Ruettggers-törvény szerint a memóriapok kapacitása pedig évente duplázódik, míg a Gilder-törvény alapján az adatátviteli sebesség évente a háromszorosára nő. [21] Ezeknek a folyamatoknak, valamint ezekkel összefüggésben a kutatási, fejlesztési és innovációs területeken létrejött kooperáció és piaci verseny erősödésének köszönhetően, az elmúlt két évtizedben számos VR-termék (sisakok, kesztyűk, mellények, helyzetkövető berendezések, térhatású hangrendszerek, futópadok/járószőnyegek) került kifejlesztésre, és a boltok polcaira. Ezek részletes bemutatása, vagy összehasonlító elemzése helyett célszerűbbnek látszik a legújabb eszköztípusok közül néhány jelentősebbet kiemelni.

14. ábra. A Dexmo és a Senso Glove VR-kesztyűje [41]



* Alezredes, tanszékvezető, egyetemi docens, NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Elektronikai Hadviselés Tanszék, ORCID: 0000-0003-2397-189X

** Tanszéki mérnök, NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Elektronikai Hadviselés Tanszék, ORCID: 0000-0003-4184-9492



16. ábra. Az MM1 (felső), a Racing Cube (bal alsó) és a VR GO (jobb alsó) székek [42]



17. ábra. Az Axon VR (bal) és az InfinaDeck (jobb) [43]

Az immerzív virtuális valóság élményével történő találkozás alkalmával az emberek első reakciója, hogy maguk elé emelik a kezüket. Különböző mozgásérzékelő szenzorok segítségével érhető el, hogy a kéz finom mozdulatait az eszköz le tudja képezni a virtuális térben. Erre képes például a Control VR, ami jelenleg az egyik legfejlettebb technológia ezen a területen. [22]

A VR-kesztyűk (akár az exoskeletonok részeként), mind a megjelenítési lehetőségeknek, mind a vibrációs visszajelzéseknek köszönhetően képesek fokozni az élményt. Bár a technológia még gyerekcipőben jár, megjelentek már olyan technikák, amelyek lehetővé teszik a tapintásérzet keltését virtuális objektumok megérintésekor, illetve fejlesztés alatt állnak a hőérzet befolyásolására alkalmas megoldások is, ➔



18. ábra. A Pimax VR Headset [44]

amelyek jelentősen kiterjesztik majd a gyakorlati felhasználás lehetőségeit. A kesztyűk piacán találkozhatunk például Dexmo, Exoglobe, vagy Senso Glove termékekkel. [23, 24]

Az immerzításemény tovább fokozható különböző elektromechanikus eszközök, például VR-székek alkalmazásával, amelyeket először speciális szimulátorok (repülő, autó) tökéletesítése érdekében fejlesztettek. A mérnökök ma már azonban univerzális megoldásokon is dolgoznak, amelyek növelik az ilyen eszközök felhasználásának szabadságfokát. Az ukrán MM például jelenleg egy minden irányba forgatható szék tökéletesítését tűzte ki célként maga elé, miközben a FaseTech a Racing Cube-bal egy lényegesen egyszerűbb, „plug-and-play” elven működő hardvert fejleszt, ami akár az átlagos felhasználók számára is elérhető, és jelenleg közel 80 szoftverrel kompatibilis. [25] Elsősorban otthoni felhasználásra készült a VR GO, amely egy egyszerű, könnyű, kompakt VR-szék. [26]

A VR-székek mellett ugyanakkor ma már „mindenirányú” futópadok is léteznek, amelyek a virtuális térben való mozgás minden lehetőségére próbálnak megoldást kínálni, egyelőre inkább kevesebb, mint több sikerrel. Az AXON VR erre a célra fejleszt az Axon VR Exosuit-ot, amelynek segítségével nemcsak járni, lépcsőzni, de akár még sportolni is lehet majd a virtuális térben. Az Infina Deck egy egyszerűbb, olcsóbb, és akár otthoni felhasználásra is alkalmas futópad megépítésén munkálkodik. [27]

A VR-eszközök piacán ma a HMD megjelenítők jelentik a legnagyobb szettet, hiszen vizualizációs platform nélkül nem beszélhetünk a mai értelemben vett virtuális valóságról. Ma az egyik legfejlettebb készülék a Pimax VR-sisakja, ami 8k felbontásban (4k+4k a két szemre) képes megjeleníteni a virtuális teret, 16 millió pixelével pedig többszörösen felülmúlja a legtöbb versenytársát. [28]

AZ INFORMÁCIÓS TECHNOLÓGIA DINAMIKUS VÁLTOZÁSA

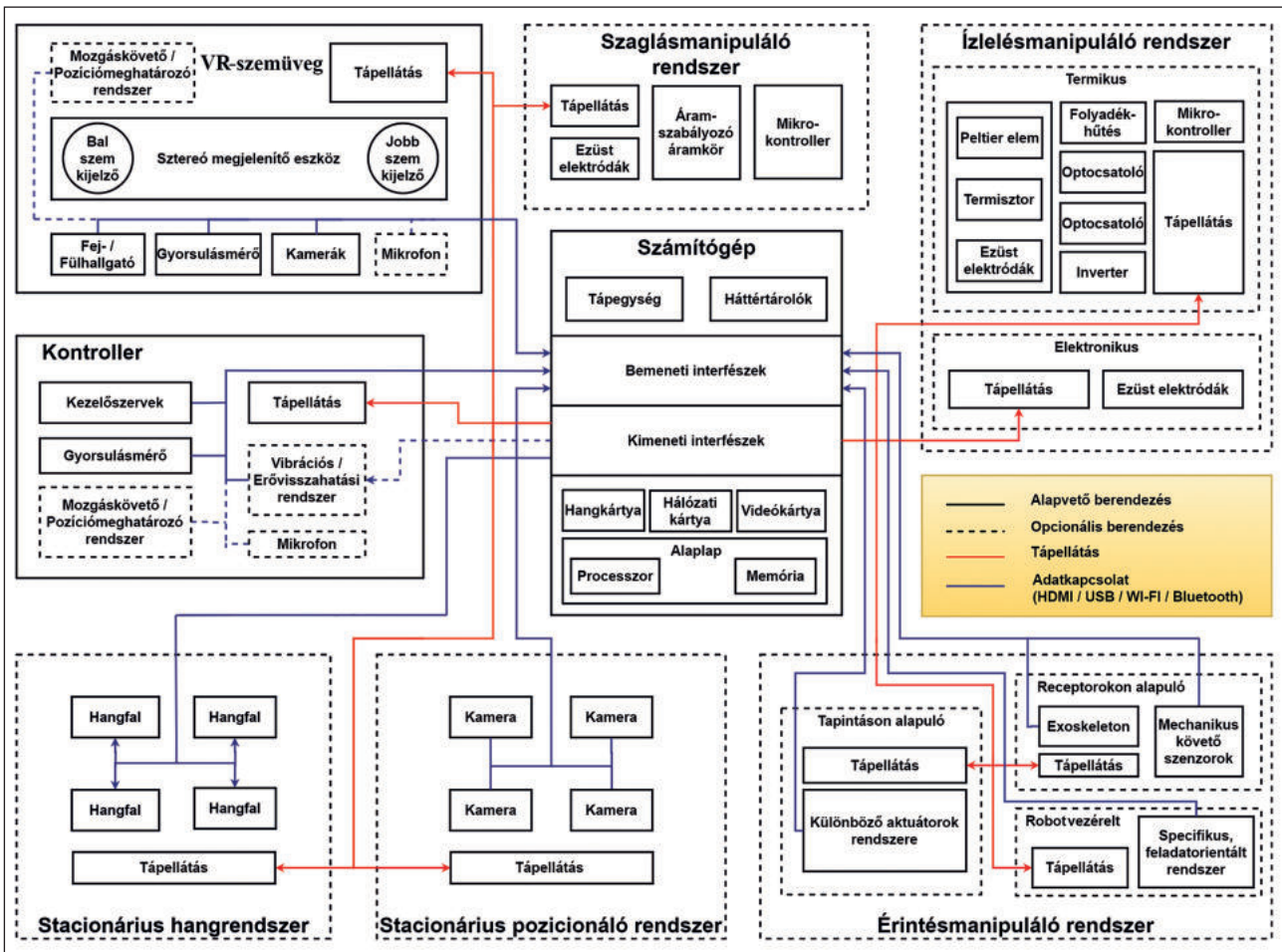
2019 végén, Budapesten nyílt meg az ország első VR-vidámparkja, amely akkor még Európában is kurióznak számított. A 2000 m²-es területen kialakított szórakoztatóközpontot az egykori Teréz körüti Szikra moziban alakították ki, ahol öt tematikus térrész áll a különböző típusú élményeket kereső érdeklődők rendelkezésére. Bár nem kimondottan tudományos szempontú megközelítés a 63 éves működést követően, 2013-ban végleg bezárt Budapesti Vidám Parkkal összehasonlítást tenni, mégis elgondolkodtató, hogy a 6,5 hektáron (65 000 m²) elterülő komplexum fenntartási és üzemeltetési költsége – a területi arányhoz hasonlóan – ugyancsak csupán 32-33-szorosa lehetett-e az új virtuális vidámparknak. E tény aligha meglepő, hiszen a nagy méretű, alapvetően elektromos meg-

hajtású mechanikus játékok energiafogyasztása, beszerzési, karbantartási költségei, valamint a több száz alkalmazott bére reálértéken nagyságrendekkel haladhatta meg egy kizárólag VR-eszközökön alapuló, mai vidámpark létesítési, fenntartási, és üzemeltetési költségeit. Ez a körülmény pedig nem, hogy nem elhanyagolható szempont, de alapjaiban határozza meg a VR-alapú megoldások terjedésének dinamikáját az élet minden területén, legyen szó szórakoztatásról, az ipar, a kereskedelem és a közlekedés folyamatairól, egészségügyi ellátásról, oktatásról, továbbá a katonai-, illetve rendészeti kiképzésről.

Természetesen ahhoz, hogy az elmúlt évtizedek során a tudósok sokszor bohókásnak tűnő ötleteiből, találmányai-ból a gyakorlatban is hasznosítható műszaki megoldások, piacképes termékek szülessenek, az információs technológia jelentős fejlődésére volt szükség mind a számítási és tárolási kapacitások, adatátviteli technikák, mind pedig a különböző perifériák területén. Mivel a valóságérzet mesterséges keltéséhez az emberi érzékelés befolyásolása szükséges, a VR-rendszerek esetén különösen nagy jelentősége van a szenzortechnikának. Szenzorokkal érzékeljük a felhasználók környezetét, pillanatnyi helyzetét, mozdulatait, egyéb reakciót (pl. pislogás, szemmozgás), vagy akár testük fiziológiai állapotát (pl. pulzus, légzésszám, bőrelenállás), majd a rendszer a mérési eredmények kiértékelését követően, ennek megfelelően különböző változtatásokat hajt végre a virtuális térben. Ennek a folyamatnak kétirányúnak kell lennie és kvázi valós időben szükséges lezajlania ahhoz, hogy az illúzió, az immerzítés élménye minél tökéletesebb legyen. Ezért a virtuális térben bekövetkező változások a perifériákon keresztül visszahatnak a felhasználóra, annak érzékszervein keresztül. Jelen tanulmány további részében ennek technológiai hátterét és egyes technikai megoldásait mutatjuk be.

A VIRTUÁLISVALÓSÁG-RENDSZEREK FELÉPÍTÉSE, ELEMEI

Annak módja, ahogy az egyes résztvevők a VR-térben interakcióba léphetnek a környezetükkel, illetve egymással, nagyban befolyásolja a virtuális világgal való tapasztalásukat, azt, hogy mennyire képesek az adott „jelenet” részeseivé válni. Ennek mértékét a felhasználó szoftveres megoldások és technikák mellett alapvetően azok a perifériák határozzák meg, amelyekkel a felhasználó valamilyen fizikai kapcsolatba kerül. Ebből következik, hogy az embergép interfészt biztosító, a virtuális környezet kialakításáért, valamint az onnan érkező hatások érzékeltetéséért felelős különböző kimeneti eszközök, illetve a virtuális térben történő tevékenységek lehetővé tételéért (a fizikai térben végrehajtott változtatások, illetve a változások VR-térbe történő leképezéséért) felelős beviteli eszközök minősége, műszaki paraméterei és általános felhasználói tulajdonságai alapjaiban határozzák meg az immerzításemény fokát. Ezért fontos, hogy a folyamatosan fejlődő technológiai háttér által biztosított új technikai megoldások mielőbb beépüljenek a minél valóságghűbb megjelenítést támogató vizualizációs [29] alrendszerbe, illetve az egyes perifériák legyenek képesek az érzékelés többi területén is (hangzás, tapintás – bőrérzékelés, szaglás, ízlelés) a valóságélmény fokozására. Ez különösen fontos olyan rendszerek esetén, amelyek igénybevétele valamilyen valóságos feladat végrehajtására történő felkészítés érdekében zajlik. A legbonyolultabbak közé tartoznak a katonai és rendészeti kiképző, harcszimulátor, illetve különböző járműszimulátor rendszerek, vagy a világűrben végzett tevékenységeket gyakoroltató komplex megoldások.



19. ábra Komplex VR-rendszer (változat) blokkdiagramja (Forrás: a szerzők szerkesztése)

A 19. ábrán a VR-rendszerek egy lehetséges sematikus felépítése látható, amely egyrészt olyan részegységeket, illetve alrendszereket tartalmaz, amelyek elengedhetetlenek az alap immerzítási élmény kiváltásához, illetve a virtuális környezetben történő tevékenységhez, másrészt olyan funkciókat megvalósító blokkokat, amelyek a valóságérzet fokozására használhatók a bevont érzékszervek körének kiterjesztésén keresztül.

Tekintettel arra, hogy egy egészséges ember a környezetéből származó információk 40-60%-ához a látásán keresztül jut hozzá, amely feldolgozásához aktív agyi kapacitása közel 40%-át használja fel [30], nemcsak fiziológiai szempontból tekinthetünk rá a legfontosabb érzékszerveként, hanem a valóságérzet mesterséges előállítása során is elsősorban a szemünk becsapására kell törekednünk, így a látás képezi a VR-rendszerek alapját. A rendszer központi eleme egy gyors, nagy számítási és tárolási kapacitással rendelkező számítógép, amelynek nagy teljesítményű videokártyája felelős a komplex virtuális környezet vizuális tartományának kialakításáért és kezeléséért, míg az ehhez valamilyen vezetékes, vagy vezeték nélküli grafikus interfészen csatlakozó, fejre helyezhető sztereó kijelző (HMD – Head Mounted Display) annak megjelenítéséért.

Ez tulajdonképpen az úgynevezett VR-szemüveg, amely képes a felhasználó körül a virtuális világ megjelenítésére, míg az ott található objektumokkal történő interakció lehetőségét egy kontroller (játékvezérlő) biztosítja. Ez a két periféria és a számítógép, valamint az azon futó szoftver jelenti a minimális konfigurációt, amelyet további, különbö-

ző rendeltetésű alrendszerrel, kimeneti, illetve beviteli eszközzel egészíthetünk ki az immerzivitás élmény fokozása, új funkciók kialakítása, a meglévők kiterjesztése, tökéletesítése érdekében. Ide sorolhatók például a kiterjesztett virtuális hangtér előállítására, vagy éppen a virtuális térben történő mozgások precizitásának fokozására szolgáló stacioner hang-, illetve pozicionáló rendszerek, amelyek számos további kiegészítő szenzor jelére támaszkodva javítják a felhasználók valóságérzetét. Ugyanakkor megannyi speciális periféria, játékvezérlők (kormányok, pedálok, műszerfalak botkormányok), VR-székek léteznek különböző járműszimulátorokhoz, vagy éppen fegyveres harcshimulátorokhoz.

A számítógép feladata leegyszerűsítve, hogy szabványos interfészein keresztül, meghatározott protokollok szerint fogadja az egyes perifériák szenzorai által küldött jeleket, fuzionálja és feldolgozza (értékeli, értelmezi, elemi) azokat, majd előállítsa a különböző kimeneti eszközök működtetéséhez szükséges (információs és vezérlő) válaszjeleket, azaz hogy kvázi valós időben összehangolja a csatlakozó alrendszerek működését, amely a perifériák számának növekedésével egyre bonyolultabb (számításigényesebb) feladattá válik.

A funkciók bővítése, a használat egyszerűsítése mellett fontos cél lehet a VR-eszközök alkalmazása közben a kényelem javítása, amely a különböző ergonómiai szempontok figyelembevételén túl, a vezetékes kapcsolatok számának minimalizálására való törekvést is jelenti. A vezetékes és kábelek jelentősen korlátozzák a felhasználó mozgásának szabadságát, ezáltal gátolva a virtuális világban törté-



nő elmélyülést, a valóságélmény kialakulását. Ezért a fejlesztők a megfelelő adatátviteli sebességet biztosító hagyományos USB (Universal Serial Bus – univerzális soros sín) és HDMI (High Definition Multimedia Interface – magas felbontású multimédiás csatlakozási felület), vagy egyéb vezeték nélküli megoldásokkal szemben egyre inkább előnyben részesítik a Bluetooth²³ vagy WiFi²⁴ alapú vezeték nélküli kapcsolatokat.

BEVITELI TECHNOLÓGIÁK

A VR-rendszerek egyik legfontosabb jellemzője, hogy képesek a felhasználót az általuk létrehozott alternatív valóság részévé tenni. Ehhez a különböző beviteli eszközöknek kvázi valós időben kell közvetíteniük számos információt a felhasználóról és környezetéről, amelynek részeként az emberi test lehető legtöbb részletének mozgását is követni kell annak érdekében, hogy a virtuális térben történő tevékenység minél valóságosabb hatást keltsen. Erre a célra ma már rendkívül sokféle eszközt, illetve ezek komplex rendszerét lehet alkalmazni, mint például billentyűzet, egér, joystick, botkormány, kormánykerék, játékkontroller, kamerák, mikrofonok, érintőpad, globális műholdas helymeghatározó rendszer (GNSS – Global Navigation Satellite System), inerciális szenzorok, mágneses szenzorok, nyomásérzékelők, bioszenzorok. A beviteli technológiákat alapvetően háromféle szempont szerint csoportosíthatjuk: mozgáskövetés (a rendszer hogyan látja a felhasználót), hangfelismerés (a rendszer hogyan hallja a felhasználót) és fizikai bemeneti eszközök (a rendszer hogyan érzi a felhasználót). [31]

SZENZOROK

Minden beviteli rendszer működésének alapját különböző szenzorok biztosítják, amelyek a környezet fizikai és/vagy kémiai állapotváltozásait képesek érzékelni, majd elektromos jelekké alakítva továbbítják azokat feldolgozásra. Az így nyert információk értékelést, majd értelmezést követően járulhatnak hozzá a rendszer által vezérelt különböző folyamatok hatékonyságának növeléséhez, mint például a tervezés vagy a döntéshozatal. [32] A mozgások detektálására, illetve megfigyelésére jellemzően különböző helymeghatározó, mozgáskövető szenzorokat, illetve kamera-rendszereket alkalmaznak. A VR-technológia esetén többnyire adott egy fixen telepített bázisállomás, amely fogadja annak a szenzorokkal felszerelt eszköznek a jelét, amelyet a bemérendő célobjektumon, követendő személyen (felhasználón) helyeztek el. Az érzékelők a fej, a kéz, az ujjak, a szemek, a törzs és a lábak mozgását is követhetik a rendszer kialakításától függően. A szenzorok kiválasztása során négy fontos tényezőt célszerű figyelembe venni: az érzékenységet/hatótávolságot (milyen távolságból, illetve távolságig képes érzékelni a változásokat), a pontosságot (a legkisebb érzékelt elmozdulás mértékét), a választóidőt (egy mozdulat által generált jelváltozás detektálásához szükséges időt) és a fajlagos költségeket. Természetesen olyan megoldások nem léteznek, amelyek minden szempont szerint a legjobb eredménnyel rendelkeznek, ugyanakkor érdemes megjegyezni, hogy a szenzortechnika napjainkban igen dinamikus fejlődik, ezért a paraméterek tekintetében is folyamatos javulásra számíthatunk. Számos szenzortípust különböztethetünk meg működési elvük, illetve annak alapján, hogy milyen jellemzők változását képesek érzékelni. Például az észlelt fizikai jelenség/hatás

szerint beszélhetünk többek között hő-, radioaktivitás-, elektromágneses, vagy fényérzékelőkről, illetve a működés során felhasznált jelek (elvek) szerint megkülönböztethetünk elektromos, mágneses, vagy optikai érzékelőket. [33] A szenzorok közül egyet – jelenlegi képességei és a perspektivikus alkalmazási lehetőségei miatt – mindenképpen érdemes kiemelni. A LIDAR (Light Detection and Ranging – lézer alapú távérzékelés) tulajdonképpen egy lézer alapú radar, amely nagy sűrűségű mintavételezéssel (távolságmérés) képes a környezet pontos feltérképezésére, és az általa szolgáltatott nagy mennyiségű adat integrációjával, szűrésével akár annak 3D digitális modellje is előállítható. Ez az eszköz, a többi tájékozódást segítő megoldással szemben, számos előnnyel rendelkezik. Ilyen lehet például, hogy egyrészt a képek minősége nem függ a napszaktól, másrészt a gyakori és többirányú mintavételezés eredményeinek feldolgozása során kiküszöbölhető a felszíni növényzet hatása, ezáltal akár a természetben alkotott képek minősége is megfelelő lesz. [34] [35] [36]

HANG- ÉS BESZÉDFELISMERŐ RENDSZEREK

A VR-térben történő együttműködést igénylő tevékenységek esetén fontos megoldandó probléma a (valós és virtuális) szereplők közötti kommunikáció (ember-ember, ember-gép) lehetőségének biztosítása, ezért a beszéd virtualizációjához is szükség van beviteli eszközökre. A mikrofon, illetve mikrofonrendszerek által analóg villamos jellel alakított hangok digitalizálása és feldolgozása ugyanakkor számos további lehetőséget is kínálhat akár a hangvezérlés, akár a tevékenységkövetés területén. A beszédfelismerés illetve értelmezés a mesterséges intelligencia (MI) alapú megoldásoknak köszönhetően ma már egyre hatékonyabb lehetőséget biztosít akár a gépekkel (virtuális szereplőkkel) folytatott, természetesnek ható kommunikáció megvalósítására is. Távolati cél lehet, hogy az ilyen rendszerek képesek legyenek a szavak, illetve mondatok felismerésén, illetve elemzésén és értelmezésén túl, megérteni a különböző társalgási kontextusokat, hangulati tényezőket, esetleg vizuális információkkal kiegészítve, azokkal komplexen kezelve a nonverbális kommunikáció eszköztárát. Ennek megvalósulása esetén a virtuális világ gépi algoritmusok által vezérelt szereplői képessé válnak a valós szereplőkkel, illetve azok „avatar”-jaival²⁵ történő folyamatos beszédalapú kommunikációra. Hasonló rendszerek már ma is léteznek, de ezek még nem képesek az emberekkel történő hiba nélküli, természetesnek ható szabad társalgás megvalósítására. [37]

FIZIKAI BEVITELI ESZKÖZÖK

A bemeneti eszközöknek ma már vélhetően ez a legnagyobb csoportja. Ezeket a legtöbbször specifikusan tervezik egy adott alkalmazási módhoz optimalizálva, például játékokhoz, vagy kiképzéshez. Ide tartoznak [31]:

- a fizikai kontrollerek: pl. gombok, kapcsolók, joystickok;
- a kellékek (legtöbbször mozgathatók), amelyek egy adott objektumot szimbolizálnak: pl. fegyverek, dobók, orvosi eszközök;
- a platformok, amelyekben a felhasználó elhelyezkedve (vagy ahhoz rögzítve) részévé válhat a virtuális világnak, és amelyeken keresztül a fizikai kölcsönhatások egy része megvalósulhat a felhasználó és avatarja között: pl. különböző futópadok, VR-székek, VR-szobák vagy kioszkok.

Az ilyen eszközök gyakran alkalmaznak erővisszahatási megoldásokat is, amelyek segítségével a felhasználó érzékelési például a VR-térben megjelenő akadályokat, fizikai hatásokat, azaz nemcsak beviteli, hanem kimeneti funkciókat is megvalósítanak.

KIMENETI TECHNOLÓGIÁK

A megfelelő VR-tapasztalat megszerzése, a kívánt élmény elérése érdekében a felhasználókat fizikailag és mentálisan egyaránt integrálni kell a virtuális környezetbe. Ezt azzal érik el, hogy a különböző érzékszerveket, vagy alternatív módszerként az agy érzékelésért felelős területeit stimulálják. Ezeket a hatásokat különböző kimeneti eszközök segítségével lehet elérni, ezáltal fokozni a felhasználók immerzivitás élményét. Másképp megközelítve a kérdést, a kimeneti eszközök feladata, hogy a felhasználót minél nagyobb mértékben határolja el a külvilágtól, illetve az onnan érkező ingerektől annak érdekében, hogy a virtuális térbe történő integrációja a lehető legjobb hatásfokkal valósulhasson meg. A továbbiakban tárgyalt technológiákat, az egyes érzékszervekre kifejtett hatásuk alapján csoportosítottuk.

MEGJELENÍTÉS

A kimeneti technológiák közül a virtuális tér vizuális elemeinek megjelenítéséért felelős alrendszer a legmeghatározóbb az immerzivitás élmény kialakítása szempontjából, így annak minősége műszaki paraméterei és pszichofizikai jellemzői alapjaiban határozzák meg egy VR-rendszer alkalmazhatóságát. A legismertebb ilyen eszközök a HMD-k, annak ellenére, hogy nem feltétlenül ezek biztosítják a legjobb vizuális élményt. Az általános funkciók mellett minden megjelenítőnek vannak sajátos jellemzői, amelyek különböző alkalmazási területeken biztosítják a hatékony felhasználás lehetőségét. Léteznek projektorokat használó stationárius megjelenítő eszközök, mint például egy környezet kivetítésére szolgáló CAVE (Cave Automatic Virtual Environment) rendszer, fejre illeszthető eszközök, például az okkluzív vagy okostelefonos megjelenítéshez, vagy különböző kézben tartható megjelenítőkhöz, amelyeket gyakran kombinálnak stationer megoldásokkal. [31]

A HMD-k csoportjába tartozó VR-szemüvegek képezik jelenleg a piac legdinamikusabban fejlődő szegmensét. Az ilyen eszközök a két szem számára két különböző nézőpontból készült képet jelenítenek meg a térélmény (mélységérzékelés) előállítására érdekében. Fontos műszaki jel-

20. ábra. A CAVE megjelenítő rendszer [45]



lemzőjük tehát az alkalmazott kijelző típusa, felbontása, képráfrissítési frekvenciája, a látómező kiterjedése, a fejlődés követésének módja. Emellett egy rendszer kialakítása során komoly figyelmet kell fordítani az eszköz optimális működéséhez szükséges számítógépes hardverkonfiguráció, különösen a videokártya helyes megválasztására.

HANGZÁS

Látásunk után a hallásunk útján juthatunk hozzá a második legnagyobb mennyiségű információhoz, így a VR-élmény megteremtésének is integráns része kell, hogy legyen a hangter mestereséges előállítás. A különböző hanghatásokat kiváltó eszközöket a vizuális megjelenítőkhöz hasonló szempontok szerint lehet csoportosítani:

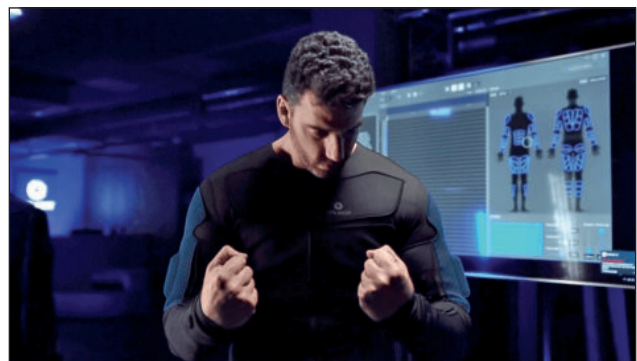
- stationárius megoldások, hangszórókból felépülő hangrendszerek;
- fejre illeszthető eszközök, fej- és fülhallgatók;
- kézben tartható eszközök, kontrollerek, okostelefonok, táblagépek hangszórói.

A valóságoshoz minél hasonlatosabb térélmény elérése érdekében több megoldás együttes alkalmazására is lehetőség nyílik komplex adaptív hangrendszerek kialakításával. [38]

ÉRINTÉSÉRZET

Az érintésérzet fogalma hallatán a legtöbben kizárólag a bőrfelszínnel történő tapintásra, illetve érzékelésre asszociálnak, holott ez egy ennél lényegesen komplexebb folyamat, amelyben az izmoknak és csontoknak is van szerepük. Ennek megfelelően az érintéssel történő érzékelésnek két alapvető típusa van, amelyet a virtuális térben való tevékenységek során is felhasználhatunk, a bőrérzékelés és a proprioceptív²⁶ érzékelés. Előbbibe tartozik például az, amikor egy hideg vagy egy forró felületet érint meg a felhasználó, míg utóbbiba az, amikor meg akarunk emelni egy dobozt, és érezzük az ehhez szükséges erőt az izmainkban, a terhelést pedig a vázrendszerünkben. Az érintésérzetért felelős eszközök esetében eltér a csoportosítás a vizuális megjelenítésért és a hanghatásokért felelős eszközökétől. Ezen a területen megkülönböztethetünk tapintáson alapuló, effektorokon alapuló²⁷ és robotvezérelt eszközöket. Tapintáson alapuló eszközök lehetnek például a VR-kesztyűk, VR-mellények, amelyeket fel lehet szerelni akár effektoralapú mechanikus eszközökkel (exoskeleton) is, amivel a végtagok már terhelhetővé válnak. Nagyon ritkán alkalmaznak különböző feladat-specifikus céllal kifejlesztett robotvezérelt eszközöket, amelyek ma még

21. ábra. A Teslasuit VR-mellénye [46]



többnyire csak prototípus formában léteznek, ugyanakkor idő kérdése, hogy ezen a területen is forradalmi változások kezdődjenek. [39]

Az eddigi rendszerekkel ellentétben, az ízeles és szaglász digitális térben történő megvalósítása ma még csak a kezdeti fázisnál tart, de a jövő katonai VR-alapú kiképzési rendszereinek a most kísérleti stádiumban lévő megoldások várhatóan már integráns részévé válhatnak.

DIGITÁLIS ÍZELÉS

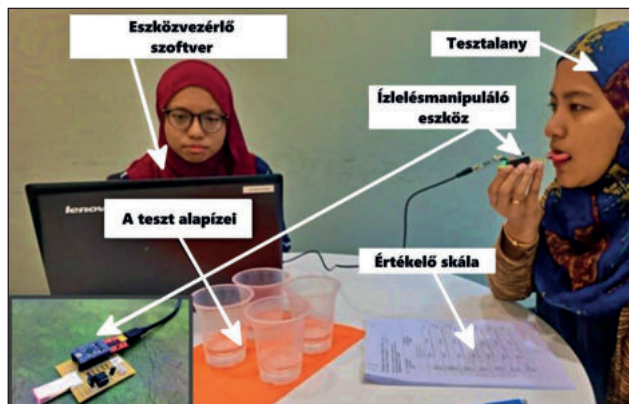
Az ízeles olyan érzékünk, amelyre a fejlesztők a virtuális technológiák között mostanáig nem helyeztek nagy hangsúlyt. Ízérzetet létre lehet hozni különböző kémiai anyagok segítségével, azonban a digitalizáció során nem használhatunk ilyen megoldásokat. Jelenleg a digitális ízelesnek két csoportját különböztethetjük meg aszerint, hogy milyen módszert használnak az ízérzet kiváltására. Ez történhet hőszabályozással, és elektromos jelek alkalmazásával. Az első megoldás esetén a nyelv felületi hőmérsékletének (hőmérséklet eloszlásának) változtatásával manipulálják az ott található receptorokat, így hozva létre a kívánt íz érzetét. Egy ilyen kísérleti eszköz látható a 22. ábrán.

A másik megoldás alapelve, hogy ha elektromos impulzusokkal stimuláljuk a nyelv megfelelő részeit (23. ábra), akkor előállítható az öt alapíz érzetének (édes, keserű, savanyú, sós, umami) egyike, illetve több terület különböző intenzitású villamos stimulációjával akár tetszőleges ízek is előállíthatók.

A 24. ábrán egy villamos elven működő kísérleti ízelesmanipuláló rendszer tesztelése látható, amellyel már több íz érzetét is sikerült előállítani. [40]

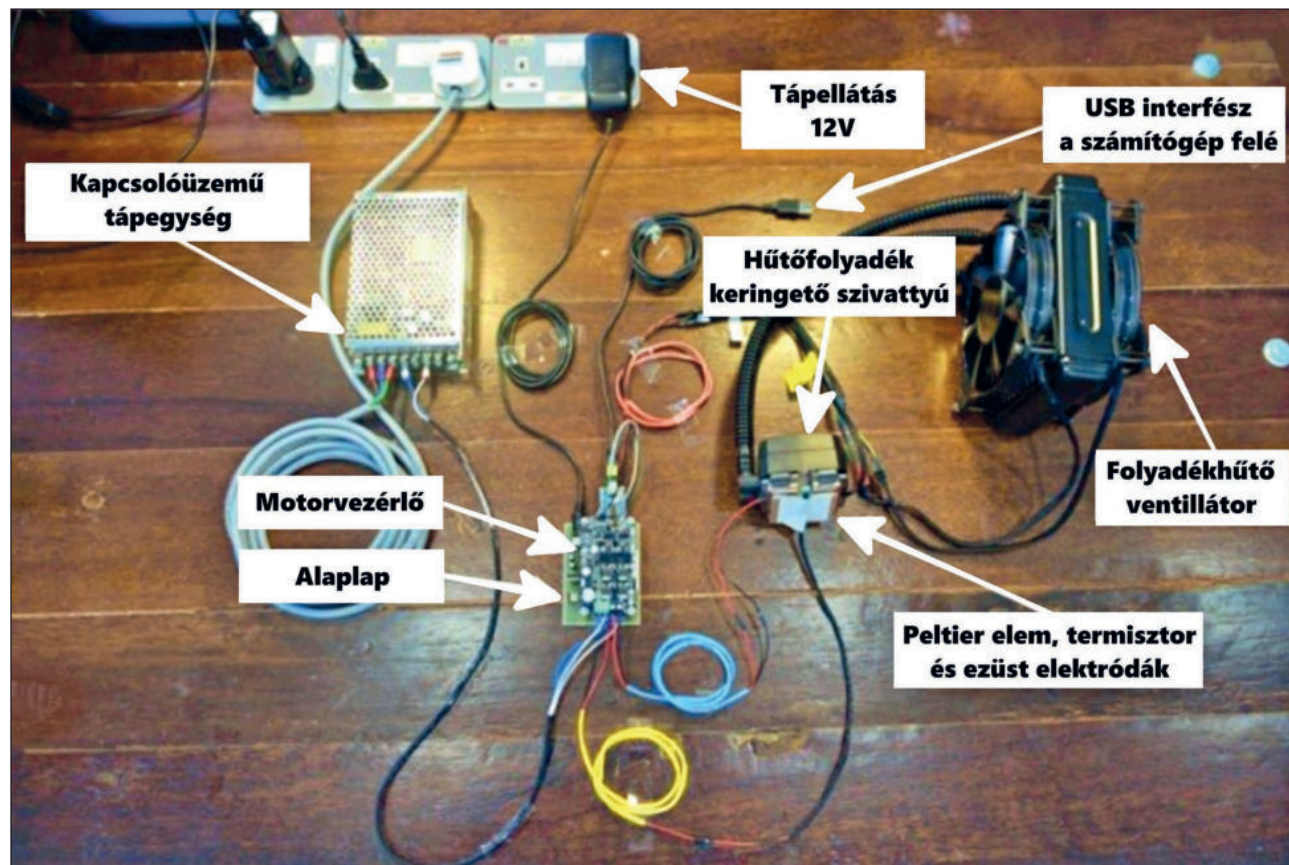


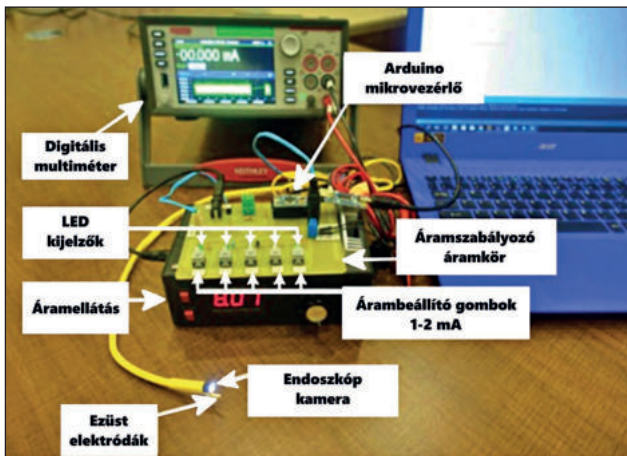
23. ábra. A nyelv öt alapízre vonatkozó érzékelési tartományai [47]



24. ábra. Az elektromos elven működő ízelesmanipuláló eszköz tesztelése [40; 56., 59. o.]

22. ábra. A termikus elven működő ízelesmanipuláló eszköz felépítése [40; 72. o.]





25. ábra. A szaglásmanipuláló testrendszer felépítése [40; 103. o.]



26. ábra. A szaglásmanipuláló rendszer tesztelése [40; 108. o.]

DIGITÁLIS SZAGLÁS

Az immerzivitás élmény tovább fokozható az emberi szaglás VR-környezetben történő aktiválási lehetőségének megteremtésével. Csakúgy, mint az ízlelés esetében, kémiai anyagok, gázmolekulák segítségével szaglásérzetet is létre lehet hozni mesterségesen, a virtuális térben ugyanakkor ilyen anyagok alkalmazására nincs lehetőség. A szaglóhám kémiai receptorainak stimulálása elektromos impulzusok alkalmazásával válik lehetővé, ami lehetőséget teremt különböző illatérzetek kiváltására. A 25. ábrán egy villamos elven működő kísérleti szaglásmanipuláló rendszer látható, amelynek segítségével sikerült különböző illatokat éreztetni a tesztalanyokkal, míg a 26. ábra a tesztek végrehajtását szemlélteti. [40]

A rendszernek nem képezi funkcionális elemét az endoszkópos kamera, feladata a kísérletben a megfigyelésen kívül az, hogy segítségével az ezüst elektródákat az ornyálkahártya megfelelő területére lehessen pozícionálni.

ÖSSZEZÉS

Napjaink VR-rendszereinek műszaki-technikai hátterét még alapvetően a VR-szemüvegek, integrált hangzórendszerek és kontrollerek, illetve az azok működtetéséhez szükséges számítástechnikai kapacitás, valamint szoftveres platformok jelentik, miközben a többi érzékszerv bevo-

nására irányuló fejlesztések jelenleg különböző stádiumokban tartanak. Az immerzítási élmény fokozása érdekében különböző VR-szettek is elérhetőek már a piacon, amelyek kimeneti eszközként biztosítják a felhasználó mozgását (elsősorban járműszimulátorok esetén) a virtuális térben, az „avatar”-ját érő erőhatások közvetítése céljából. Ugyanakkor előrehaladott állapotban vannak már olyan újabb fejlesztések is, amelyek fizikai beviteli eszközként a felhasználó valós térben végzett mozgását képezik le a virtuális térben, miközben az erővisszahatásnak köszönhetően képesek akadályozni is azt a szcenárió és a feladat függvényében. Ezek a funkciók jelentős potenciált hordozhatnak a különböző katonai kiképzési és harcszimulátor rendszerek fejlesztése során, a szaglás- és ízlelésmanipuláló rendszerek integrálásának lehetőségéhez hasonlóan. Ezek a megoldások, illetve az egyes alrendszerek fejlesztésére irányuló erőfeszítések a jövőben hozzájárulnak majd az immerzivitás élmény folyamatos fokozásához, a VR-rendszerek felhasználhatóságának bővüléséhez. A VR technológiai hátterének és technikai megoldásainak, valamint a fejlődés irányainak bemutatását követően a tanulmány következő részében a különböző polgári alkalmazási lehetőségek kerülnek majd górcső alá.

(Folytatjuk)

HIVATKOZOTT IRODALOM

- [21] Bartolits István. „Korlátlan sávszélesség és tárolókapacitás.” In. *Információs Társadalom Technológiai Távlatai, Tanulmány, 2. kötet, Technológiai jelenségek részletes elemzése, 7–15*. Nemzeti Hírközlési és Informatikai Tanács, 2005.;
- [22] Azwan Jamaluddin. „Control VR: Turn Your Hands Into a Virtual Reality Controller.” November 19, 2017. <https://www.hongkiat.com/blog/controlvr-virtual-reality-hand-controller/> (Letöltve: 2020.07.09.);
- [23] Bobby Marinov. „Exoskeletons for Gaming and Virtual Reality.” February 13, 2017. <https://exoskeletonreport.com/2017/02/exoskeletons-for-gaming-and-virtual-reality/> (Letöltve: 2020.07.09.);
- [24] Paul James. „Senso is a VR Input Glove With Per-finger Haptics and Simulated Temperature.” December 26, 2016. <https://www.roadtovr.com/senso-vr-input-glove-per-finger-haptics-simulated-temperature/> (Letöltve: 2020.07.09.);
- [25] <https://fasetech.com/about> (Letöltve: 2020.07.09.);
- [26] Alex Phoenix. „The Best VR Motion Chairs.” April 20, 2018. <https://vrborg.com/review/best-vr-motion-chairs> (Letöltve: 2020.07.09.);
- [27] Scott Hayden. „AxonVR is Making a Haptic Exoskeleton Suit to Bring Your Body and Mind into VR.” May 13, 2016. <https://www.roadtovr.com/axonvr-making-haptic-exoskeleton-suit-bring-body-mind-vr/> (Letöltve: 2020.07.09.);
- [28] „Pimax: The World’s First 8K VR Headset.” June 9, 2020. <https://www.kickstarter.com/projects/pimax8kvr/pimax-the-worlds-first-8k-vr-headset> (Letöltve: 2020.07.09.);
- [29] András Németh, András Szabó, Ferenc Balog, „3D Virtualisation and Visualisation Technologies for Archiving the Results” In: Gábor Hausner; András Németh, *Zrínyi-Újvár: A Seventeenth-Century Border Defence System on the Edge of the Ottoman Empire*. Budapest, Magyarország: Ludovika Egyetemi Kiadó, 2020 pp. 225–268.;



- [30] Balázs Barbara, Bubik Veronika, Hadabás Gitta, Hegyi Béla, Kárpáti Andrea, Király Andrea, Péntek Csilla, Váradi Judit, Zsupponits Anett, *Vizualizáció a tudománykommunikációban* ELTE, 2013. https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011-0073_vizualizacio_tudomanykommunikacioban/ch02s02.html;
- [31] William R. Sherman, Alan B. Craig, *Understanding Virtual Reality*. Elsevier, 2019. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-18583-2>;
- [32] Bognár Eszter Katalin. „Szenzorok és Szenzorhálózatok.” (ppt) Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2019.;
- [33] Jacob Fraden, *Handbook of Modern Sensors, Physics, Designs, and Applications*. New York: Springer, 2010 <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6466-3>;
- [34] Verőné Wojtaszek Malgorzata. „Fotointerpretáció és távérzékelés 3., A lézer alapú távérzékelés.” Nyugat-magyarországi Egyetem, https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_FO13/index.html (Letöltve: 2020.07.10.);
- [35] Négyesi, Lajos; Németh, András; Padányi, József; Szabó, András Zrínyi-Újvár kutatása a hadirégészeti eszközeivel II. rész. *Haditechnika* 55: 1 (2021) <https://doi.org/10.23713/HT.55.1.13>;
- [36] Németh András Szabó András, *Zrínyi-Újvár hadszíntérkutatási eredményeinek hasznosulása a katonai műszaki oktatásban* Budapest: Ludovika Egyetemi Kiadó, 2020.;
- [37] Tóth László. „A mély neuronhálók beszédtechnológiai alkalmazásai.” *Digitális Katona 2.0 – „Fókuszban a katona” nemzetközi konferencia* (Április 2019);
- [38] Alan B.Craig, William R. Sherman, Jeffrey D. Will, *Developing Virtual Reality Applications, Foundations of Effective Design* Burlington: Morgan Kaufmann, 2009. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-20103-6>;
- [39] Bernhard Jung, „Virtuelle Realität, Teil 6: Aural and Haptic Displays.” http://www.informatik.tu-freiberg.de/lehre/pflicht/VR/ws06/VR06_Nonvisual-Displays.pdf (Letöltve: 2020.07.10.);
- [40] Adrian David Cheok, Kasun Karunanayaka, *Virtual Taste and Smell Technologies for Multisensory Internet and Virtual Reality* Cham: Springer, 2018. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-73864-2>.
- [41] *Senso VR Gloves* January 11, 2017. https://www.youtube.com/watch?v=1ziu_iad5Es (Letöltve: 2020.07.09.) [2016] *Dexmo: An exoskeleton for you to touch the digital world* August 23, 2016. <https://www.youtube.com/watch?v=Sif7cY8qwjM> (Letöltve: 2020.07.09.);
- [42] http://vcdn.computec.de/ct/2017/4/73740_hd.mp4 (Letöltve: 2020.07.09.) *RacingCUBE Release Trailer – 4DOF Racing Simulator* December 15, 2017. <https://www.youtube.com/watch?v=urrow1AV8dE&t=44s> (Letöltve: 2020.07.09.) *The VR Go Chair First Look* April 23, 2019. <https://www.youtube.com/watch?v=gzHn1InCEul> (Letöltve: 2020.07.09.);
- [43] *Axon VR Exosuit – Feel and Move in VR* August 30, 2016. <https://www.youtube.com/watch?v=jk-3kZ7ytZs&t=136s> (Letöltve: 2020.07.09.) *The NEW Infinadeck – CES 2016* January 2, 2016. <https://www.youtube.com/watch?v=7uO8Z34f0xE> (Letöltve: 2020.07.09.);
- [44] „Pimax, el casco de VR que funciona a 8K y que ha revolucionado Kickstarter,” October 3, 2017. <https://www.nitro-pc.es/blog/pimax-8k/> (Letöltve: 2020.07.09.) https://ksr-video.imgix.net/projects/2753528/video-818910-h264_high.mp4 (Letöltve: 2020.07.09.);
- [45] Christopher Zimmermann, „The History of VR – In VR,” May 20, 2019. <https://blog.magnolia-cms.com/author/christopher-zimmermann/history-of-vr-in-vr.html> (Letöltve: 2020.07.13.);
- [46] <https://i.gzn.jp/img/2019/12/27/teslasuit-vr-glove-feel-virtual-object/001.png> (Letöltve: 2020. 10.11);
- [47] https://sake-culture.com/wp-content/uploads/2019/11/shutterstock_1095395525-1-scaled-1.jpg.

JEGYZETEK

- 23 A Bluetooth egy rövid hatótávolságú adatcseréhez használt, nyílt, vezeték nélküli szabvány, amely alkalmazásával automatikusan létesíthető kis hatótávolságú rádiós kapcsolat.
- 24 A WiFi a vezeték nélküli mikrohullámú kommunikációt (WLAN) megvalósító szabvány (IEEE 802.11) népszerű neve. Nem az angol Wireless Fidelity kifejezés rövidítése, ugyanis az elnevezést egy marketingcég találta ki, játékosan utalva a Hi-Fi szóra.
- 25 A valós személy (játékos, résztvevő, katona) virtuális mása.
- 26 A propriocepció egyfajta érzékelést jelent. Érzékelői (a receptorok) az izmokban, szalagokban, ízületi tokokban megtalálható proprioceptorok. Ezek finom visszajelzéseket küldenek a testrészeink és a végtagok egymáshoz viszonyított helyzetéről. A propriocepciót másképpen ízületi helyzetérzésként is szokták említeni.
- 27 Az effektor olyan sejt vagy szerv, amely fízziológias válaszreakciót hoz létre valamilyen inger hatására. A harántcsikolt izmok, a sima izmok és a belső elválasztású mirigyek tartoznak ide.

HADITECHNIKA FOLYÓIRAT

A *Haditechnika* folyóirat korábbi számai megvásárolhatók:

Líra Könyvruház, Récsei Center 1146 Bp., Istvánmezei út 6., (telefon: 411-1543);

Stúdió könyvesbolt 1138 Bp., Népfürdő u. 15/D, (telefon/fax: 359-1964, 359-6461);

HM Zrínyi Nonprofit Kft. Ügyfélszolgálat (Budapest II., Fillér u. 14., 1087 Budapest, Kerepesi út 29/b.)

Nyitvatartás: H.–P. 9–15 óra ugyfelszolgalat@hmzrinyi.hu.

Dr. Óvári Gyula* – Fehér Krisztina**

Repülőgépek elektromos meghajtása – szükségszerűség kompromisszumokkal

IV. rész

A folyamatosan csökkenő mennyiségű hagyományos, fosszilis eredetű energiahordozók környezetkímélő kiváltására a légi közlekedésben jelenleg döntően az elektromos meghajtású repülőeszközök jöhetnek számításba. A tanulmány korábbi részeiben a szerzők áttekintették repülőeszközök működtetéséhez alkalmazott energiahordozók fajtáit, a környezetszennyezés csökkentése érdekében szóba jöhető alternatív energiahordozók kiválasztásának szempontjait, majd a repülés környezeti hatásait. Felvetették a dinamikusan növekvő légi forgalom és a környezetvédelmi szabályozás ellentmondásait, elemezték az alternatív-energia-bevezetés kényszerű lassulásának okait, valamint aggályokat fogalmaztak meg a 2050-ig tartó fejlődés lehetőségeiről. A tanulmány bemutatta a katonai repülés és a környezetszennyezés arányait, majd a nemzetközi társadalmi, politikai, katonai válságok, illetve a koronavírus-járvány hatásait vizsgálta a repülőiparra és a légi közlekedésre. Ezt követően önálló rész foglalkozott az elektromos meghajtású repülőeszközök gyors bevezetésének kényszerhelyzetével, valamint az azzal járó kompromisszumokkal. A sorozat IV. része előbb az akkumulátoros energiatárolás, majd a villamos meghajtás legfőbb nehézségeit mutatja be. A szerzők az UAV-k különböző típusain az adott eszközök elő-

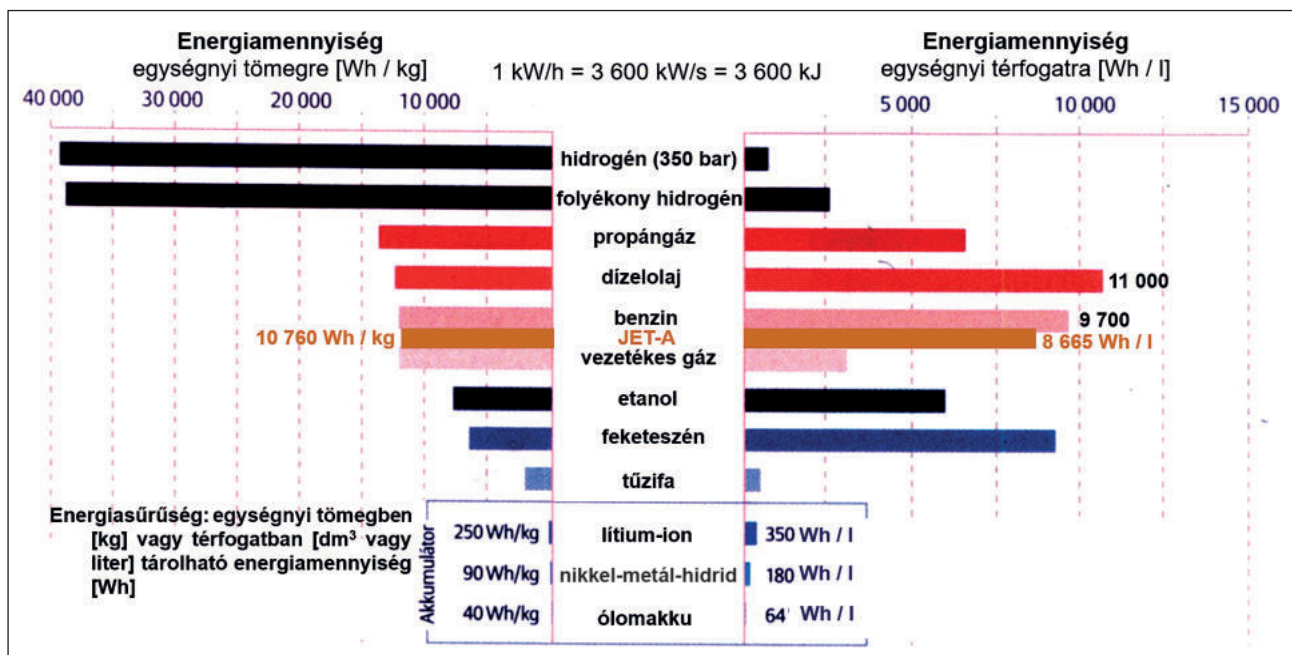
nyeit és hátrányait emelik ki. Ezt követően az érdeklődők a napelemes légi utántöltéssel, az új típusú akkumulátorokkal, valamint az üzemanyagcellák alkalmazásának egyes változataival ismerkedhetnek meg.

AZ AKKUMULÁTOROS ENERGIATÁROLÁS NEHÉZSÉGEI

Több mint egy évszázada ismert, hogy a legmagasabb hatásfokú elektromos meghajtás neuralgikus eleme a meghajtáshoz szükséges energia tárolására szolgáló akkumulátorok számos – napjainkig megoldatlan – kedvezőtlen sajátossága. Ezek közül a jelentősebbek:

- alacsony *energiasűrűség* (28. ábra). (Összevetésként: a benzin, gázolaj 1 dl-ében kb. akkora energiamennyiség található, amennyit egy 20 kg-os ólomakkumulátor tárolni képes);
- hosszú feltöltési idő. A gyorsított alkalmazása azonban nagymértékben lerövidíti az akkumulátor üzemidejét (a garantált feltöltésszámát akár 50-70%-kal!);
- a normál feltöltések számával is arányosan csökken az energiatároló kapacitásuk, így élettartamuk (üzemidejük) is csökken. (Ennek költsége magas, elektromos

28. ábra. Különböző energiahordozók energiasűrűsége [1]



* 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





29. ábra. DJI AGRAS T-16 UAV 2020. 03. 16-án fertőtlenít az KFK rákospalotai telephelyén (Fotó: Szalkai István)

személygépkocsi esetében is milliós nagyságrendű kiadás, de pl. egy 12 személyes elektromos meghajtású repülőgépnél (többek között az Eviation Aircraft által gyártott Alice repülőgép esetében), ~75 millió Ft 3000 repült óránként);

- a folyékony üzemanyagoktól eltérően, repülés közben nem csökken a tömegük;
- a legjobb hatásfokú lítium-ion akkumulátor is tűz- és robbanásveszélyes.

Napjainkban egy kizárólag – akár a legkorszerűbb – akkumulátorral táplált elektromosan meghajtott repülőgéppel folyamatosan legfeljebb 15-30 percet lehet repülni.

Ezt jól érzékeltetik pl. egy hazánkban is mezőgazdasági célra fejlesztett, de a COVID-19 világjárvány idején nagyvárosi üzemi fertőtlenítésre is eredményesen alkalmazott, (29. ábra) korszerű, ~40 kg felszállótömegű (ebből maximum 15 kg hasznos terhelhetőségű), listaáron 5 000 000 Ft értékű, kínai gyártmányú DJI AGRAS T-16 UAV (30. ábra) akkumulátorának műszaki adatai.



30. ábra. DJI AGRAS T-16 UAV [2]

A Li-Po akkumulátor (a 31. ábrán, a jobb oldalon) töltését egy 2600 W teljesítményű intelligens rendszer vezérli (31. ábra)

31. ábra. 2600 W-os intelligens akkumulátortöltő rendszer [2]



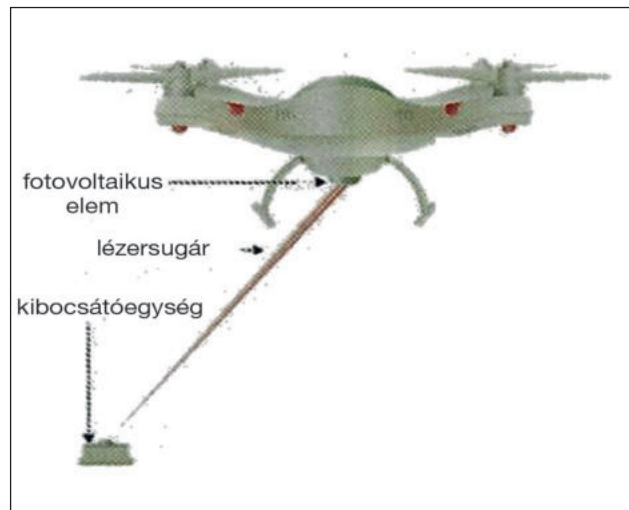
bal oldal), amely folyamatosan figyeli az egyes kockázati tényezőket, és segít az akkumulátort ideális állapotban tartani. Egyszerre 4 db akkumulátor töltésére képes, de ha egycsatornás módban használják, a töltési idő 20 percre csökken.

A 14 cellából álló, 17 500 mAh kapacitású, 51,8 V feszültséget biztosító, új áron a kereskedelemből ~400 000 Ft-ért beszerezhető IP54³ besorolású, intelligens repülőgép-akkumulátorblokkot fémháza építették, az előző generációhoz képest 140%-kal megnövelt hőelvezetési kapacitással. Akár 400 normál töltési ciklus is elérhető vele – ez mindössze 120-200 repült óra! –, (gyorstöltéssel azonban ennek alig harmada lehetséges).

A VILLAMOS MEGHAJTÁS ALKALMAZÁSÁNAK LEGFŐBB NEHÉZSÉGE

Mivel a napjainkban ismert akkumulátorokkal nem várható a 15–40 perces repülési időtartam érdemi növekedése, a szakemberek a jelenleg is zajló fejlesztési kutatások gyakorlatban is megbízhatóan alkalmazható eredményeinek megjelenéséig törekednek a drónok gyors, repülés közben történő utántöltési eljárásainak kimunkálására. Ezek lényege, hogy az UAV-k egy olyan elektromágneses térbe repülnek be és maradnak abban a szükséges ideig, ahol annak energiájából, azt átalakítva, képesek feltölteni saját akkumulátoraikat elektromos árammal.

FELTÖLTÉS LÉZERSUGÁR SEGÍTSÉGÉVEL (FEJLESZTŐ: EPFL/LAKEDIAMOND, US ARMY)



32. ábra. Drón akkumulátorainak feltöltése lézerek alkalmazásával, repülés közben [3]

A svájci lausanne-i műszaki egyetemen (EPFL⁴) kidolgozott rendszer lényege (32. ábra), hogy az emberre nem veszélyes lézerekkel megvilágítják a drónokra szerelt napelemeket, így repülés közben is lehetséges az utántöltés, de ideális esetben akár az akkumulátor nélküli haladás is. Az elképzelés szerint egy adott útvonalon és/vagy területen kiépített toronyhálózat folyamatos repülést tehet lehetővé.

Előny: nagy távolságból is működik, repülés közben, leszállás nélkül alkalmazható.

Hátrány: a sugár útjában nem lehet akadály, s így a köd, a szmog, vagy más légköri jelenség számottevően rontja a rendszer hatásfokát.



33. ábra. Dróntöltő indukciós hexaéderrács (szerzői montázs gyári videók és a [3] alapján)

INDUKCIÓ A LEVEGŐBEN (FEJLESZTŐ: GLOBAL ENERGY TRANSMISSION)

Az orosz háttérű Global Energy Transmission (GET) szabályos hexaéder kialakítású dróthálózata elektromágneses teret hoz létre, (33 a) ábra) amit a drón vevője az akkumulátor töltéséhez megfelelő árammá alakít át. A gyártó közlése szerint néhány perc alatt újabb félórás működéshez szükséges energiával tölthető fel a drón, sőt egyszerre akár több eszköz is.

Az ilyen töltőállomások kialakítása ugyan helyhez kötött, de – megoldott egyszerű telepíthetőségük is – megfelelő sűrűségű elhelyezésükkel hosszabb útvonal és/vagy nagyobb terület is lefedhető az UAV-k hosszabb idejű repüléséhez (33 b) ábra).

Előny: leszállás nélkül, egyszerre több UAV is tölthető.

Hátrány: óvni kell a töltési zónát.

INDUKCIÓ A FÖLDÖN (FEJLESZTŐ: WiBOTIC⁵)

Az UAV földfelszínén telepített, kis platformokra száll le (34. ábra), ahol a létrehozott elektromágneses térből (a mobiltelefonokhoz hasonlóan) fejlesztnek áramot.

Előny: magas töltési hatékonyság.

Hátrány: le kell szállni a töltés idejére.

Az ilyen töltőállomások kialakítása is helyhez kötött, de megfelelő sűrűségű telepítésükkel hosszabb útvonal és/vagy nagyobb terület is lefedhető az UAV-k hosszabb idejű



34. ábra. Dróntöltő indukciós platform (szerzői montázs a [4] alapján)

repüléséhez (tömege és mérete) egyszerű mobilizálhatóságot is biztosít.

Megjegyzendő, hogy a „vezeték nélküli” töltési eljárások mindegyike igen rossz hatásfokkal bír, tehát ha a szükséges töltőáram nem zöld forrásból származik, akkor az alkalmazásuk környezetvédelmi szempontból nem előnyös.

LÍTIUMION-AKKUMULÁTOR HATÉKONYSÁGNÖVELÉSE ASZIMMETRIKUS HŐMÉRSÉKLETŰ TÖLTÉS-FOGYASZTÁSSAL

A lítiumion-technológia onnan kapta a nevét, hogy a töltést lítium ionok tárolják, amelyek töltéskor a negatív – kezdetben szénalapú, jelenleg már biztonságosabb, többretegű, lítium-kobalt-oxid (LiCoO₂) vagy lítium-vas-foszfát (LiFePO₄) esetleg néhány más, rokon vegyület anyagú – elektródához (2. táblázat), kisütéskor pedig a pozitív fém-oxid- elektródához vándorolnak.

2. táblázat. Lítiumion-akkumulátor katódjának néhány anyaga és elektromos jellemzője

Anyaga	Átlagos feszültség	Fajlagos kapacitás
LiCoO ₂	3,7 V	140 mAh/g
LiMnO ₂	4,0 V	100 mAh/g
LiFePO ₄	3,3 V	170 mAh/g
Li ₂ FePO ₄ F	3,6 V	115 mAh/g

Az anódot és a katódot elválasztó elektrolit lítiumhexafluorofoszfát (LiPF₆) vagy újabban a kevésbé korrodáló lítium-tetrafluoroborát (LiBF₄), általában folyékony, szer- ves oldatok.

Ezeknél az akkumulátoroknál a gyorsöltés (XFC – eXtreme Fast Charger) alapvető kedvezőtlen sajátossága, hogy az jelentősen csökkenti élettartamukat (garantált töltési-kisütési ciklusszámukat), mivel felmelegednek és fokozódik anódjukon a lítiumlerakódás, amely járulékosan tűz- és robbanásveszéllyel is párosul.

Kutatásokon alapuló tapasztalatok szerint ez utóbbi hiányosság megszüntethető aszimmetrikus hőmérsékletű töltéssel és fogyasztással. Pontosán meghatározott hőmérsékletű (60 °C-os!) és időtartamú (nem több mint 10 perc!) töltés esetén (35 a) ábra) kevesebb lítiumlemez-lerakódás jön létre, mivel a rövid időtartammal elkerülhető az akkumulátoron más káros képződmény, az úgynevezett szilárd-elektrolit-interfázis (SEI) növekedése. Ennek következtében megmarad az eredeti normál töltésnél garantált 1700 töltési ciklus is. Ugyanakkor a fűtés nélküli, ugyanilyen intenzitású gyorsöltésnél, mindössze 60 ciklus után már számottevően romlik az energiatároló képesség. (35 b) ábra.)

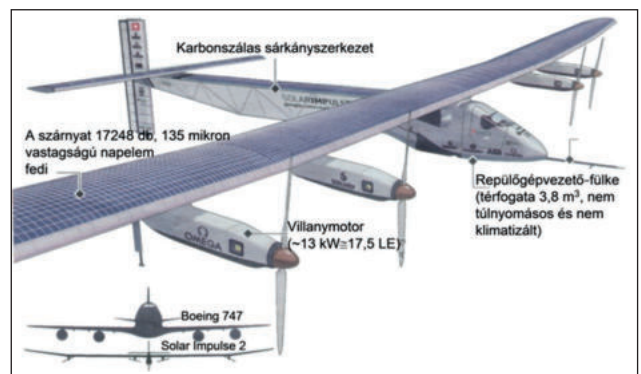
Az aszimmetrikus hőmérsékletű gyorsöltés és a kisütés módszere új lehetőséget nyújt az elektromos szállítás hatékonyságának javítására. A 35. ábrán bemutatott 9,5 Ah-ás 170 Wh/kg-os cella, 1700 XFC töltési ciklust követően (60 °C-os töltési hőmérséklet mellett pontosan 10 perc

alatt) 80%-os töltöttségi állapotba hozva, névleges kapacitásának mindössze 20%-át veszítette el.

További kedvező tapasztalat, hogy a megemelt töltési hőmérséklet lényegesen csökkenti az akkumulátor hűtési igényét. (Ugyanakkor ne feledkezzünk meg arról, hogy a hűtésnek is jelentős az energiaigénye, tehát a teljes töltőberendezést vizsgálva itt is jelentősen romlik a hatékonyság)

ELEKTROMOS TÁROLÓKAPACITÁS NÖVELÉSE NAPELEMES LÉGI UTÁNTÖLTÉSSSEL

Merev szárnyú repülőgépeken – a napelemekkel beborítható, megfelelően nagy sárkány (törzs, szárny és vezérsík) felületek miatt – potenciálisan megoldható az akkumulátorok környezetbarát utántöltése, amely az ezredfordulóra demonstrációs jelleggel meg is valósult.

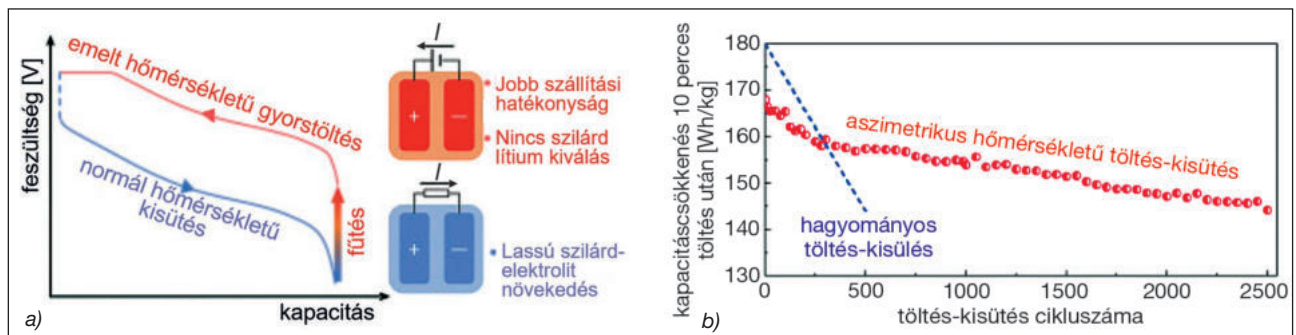


36. ábra. Solar Impulse 2 kísérleti napelemes repülőgép [6]

Az e célra épült Boeing 747-est meghaladó, 71,9 m-re növelt szárnyfeszítávolságú, egyszemélyes, 2300 kg tömegű Solar Impulse 2 repülőgép (36. ábra) hőszigetelt konténerekben elhelyezett 633 kg tömegű lítium-polimer akkumulátorát 17 248 db, 135 mikron vastagságú, összesen 269,5 m² felületű napelem táplálta és egyben működtette is a 4 db, egyenként 13,5 kW teljesítményű korszerű, kefék és érzékelők nélküli motorját is. A napelemekből kinyert energia olyan sikeresen kiszámított volt, hogy annyi felesleggel sem rendelkezett az átlagosan 70 km/h repülési sebesség mellett, hogy a világszerte körüli út során akár a legegyszerűbb, csupán értékeltartásra képes robotpilóta beépítését és működtetését lehetővé tette volna.

Természetesen ez a megoldás – nagy szabad (szárny-) felületek hiányában – forgószárnyas légi járműveken egyáltalán nem alkalmazható.

35. ábra. Aszimmetrikus hőmérsékletű töltés-fogyasztás ciklusának karakterisztikája és hatása a garantált működési ciklusszámra [5]



PSZUDOMŰHOLDOK

Ugyanakkor a napelemes energiaellátás – néhány év eltelével, a technika további fejlődése eredményeként – mégis lehetővé tette egy új repülőeszköz-kategória, a pszeudoműholdak (HAPS, High Altitude Pseudo-Satellites) megjelenését. Ezek olyan, rendszerint felderítő vagy mikrohullámú átjátszó funkciójú, napelemekkel táplált, speciális UAV-k, amelyek a jelenlegi repülőgépek (és drónok) számára túlzottan magas, a műholdak számára túlzottan alacsony, azaz $H > 20$ km-es repülési magasságú tartományban működnek, folyamatos, leszállás nélküli 15–120 napos repülési idővel.

Már létező kísérleti légi jármű az Airbus Zephyr-S. A 75 kg saját tömegű, 25 m fesztávú drón néhány tíz kilogramm teherrel, 3 hónapon keresztül képes a levegőben maradni $H \approx 21$ km repülési magasságban. Éjszakai működését a napközben napelemeivel utántöltött akkumulátorok biztosítják. (37. ábra, alsó repülőgép)



37. ábra. Airbus Zephyr-S (a képen alul) és Zephyr-T pszeudoműholdak [7]

A brit védelmi minisztérium állította szolgálatba a továbbfejlesztett, nehezebb Zephyr-T modellt (saját tömege 140 kg, fesztávolsága 33 m), amelynek repülési magassága 21 km és 3 hónapig képes folyamatosan, leszállás nélkül repülni (a 37. ábrán a felső eszköz). Bevezethető katasztrófahelyzetekben, kutatásra, pl. olajfolt, erdőtűz terjedésének megfigyelésére, de internetkapcsolatot is biztosíthat egy 125 km²-es övezetben és/vagy a közönséges rádiótelefon hatótávolságát 300 km-re növeli. Az eszközzel határszakaszok is ellenőrizhetők, és katonai célokra is alkalmazható. Ezáltal részben kiválthatják a nehezebben és költségesebben pályára állítható (és ott tartható) műholdakat, illetve olyan feladatokat is elláthatnak, amelyek jelenleg a gyorsan lemerülő akkumulátorokkal működtetett drónokkal nem valósíthatók meg.

ELEKTROMOS TÁROLÓKAPACITÁS-NÖVELÉS ÚJ TÍPUSÚ AKKUMULÁTORRAL

Hosszú ideje, több országban is átfogó kutatások folynak az akkumulátorok kapacitásának meg többszörözésére, lehetőség szerint érdemi, nagyságrendekkel történő javítására.

LÍTIUM-KÉN AKKUMULÁTOR

Az energiatároló képesség (energiasűrűség) javítására jelenleg olyan lítium-kén (Li-S) akkumulátorokat fejlesztettek, amelyek *tárolókapacitása ötszöröse a mai lítiumion-akkumulátorokénak* úgy, hogy több mint 200 töltési ciklus után is megtartják eredeti kapacitásuk 99%-át. Valójában ennek kimunkálása már korábban megkezdődött, de akkor nem

sikerült azt a problémát megoldani, hogy a kénelektrod – amely a töltési-lemerülési ciklusok során kitérül, majd összeszuszorodik és ilyenkor térfogatváltozása akár 78%-os is lehet – a használat során nagyon gyorsan elbomlik (tönkremegy). Ezért a tárolóképeség növelésével járó előnyök a gyakorlatban nem voltak érvényesíthetők a rövid élettartam miatt. Ezt a gondot eredetileg úgy próbálták orvosolni, hogy olyan adalékanyagokat adtak az akkumulátorhoz, amelyek egymáshoz kötötték az elektrod anyagait, megakadályozandó a szükségszerű repedést, majd szétesést. (Hasonló elektrodterefogat-változás egyébként a ma használatos lítium akkumulátorokban is végbemegy.)

Az újabb kutatások eredményeként azonban gyártáskor nagyobb helyet biztosítottak a szabad tágulásra az elektrodoknak, így csökkentve a szerkezeti feszültséget. Az elektrod részecskéinek rögzítéséhez pedig sokkal lazább, cellulózpolimer-szálakat használtak, megőrizve ezzel a szerkezet integritását.

A fejlesztők szerint a lítium-kén elemek elterjedésével drasztikusan zuhanhat a járművekben használatos akkumulátorok ára, mivel ezeknél azonos kapacitáshoz kisebb tömeg beépítése is elegendő, valamint a kén lényegesen gyakoribb és olcsóbb, mint a most használatos ritkaföldfémek. Ritkaföldfémeket a Li-ion akkumulátorok katódjában alkalmaznak, ez az elektrod a jövőben kénből készülne. A Li-S akkumulátorok gyártástechnológiája még nem elég kiforrott, és a nagyobb energiasűrűség miatt a robbanásveszélyessége is nagyobb a manapság általánosan használt akkumulátorokhoz képest, amely késlelteti piaci megjelenését és elterjedését.

NÁTRIUM-ION AKKUMULÁTOR

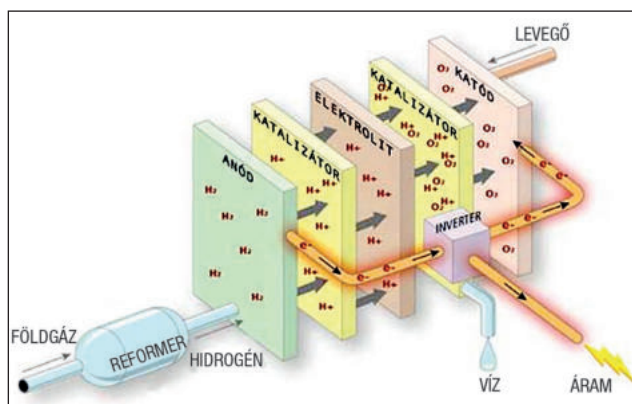
A jelenleg még fejlesztés stádiumában lévő nátriumion-akkumulátor hatékonysága ugyan közel azonos a lítiumionéval, de nem igényli az ahhoz szükséges, nehezen beszerezhető anyagok többségét (pl. kobalt). A nátrium, mint alapanyag sokkal olcsóbbá és egyszerűbbé teszi gyárthatóságát is. Ezenkívül mentes a – lítium-ion és lítium polimer akkumulátoroknál magas feszültség vagy hő hatására létrejövő – tűz- és robbanásveszélytől is.

Az eddigi fejlesztés legfontosabb feladata az volt, hogy kiküszöböljék a katódként használható alapanyagok felületén kialakuló olyan inaktív nátrium-kristályréteg létrejöttét, amely károsíthatja az eszközt és gátolhatja a kémiai reakciót. Ennek érdekében létrehoztak egy rétegelt fénoxid katódot, és kifejlesztettek egy folyékony elektrolitot, amely extra nátriumionot tartalmaz. Így az akkumulátorba egy só-sabb keverék kerül, a katód hatékonyabbá válik, és nem csapódik ki kristály. Az ellenőrző kísérletek során 1000 ciklus után csak a névleges kapacitásának 20%-át veszítette el. Ez a technológia ugyan még további fejlesztést igényel, de így is jelentős lépés a tényleges gyakorlati használhatósága felé.

ÜZEMANYAGCELLA ALKALMAZÁSA

A repülőeszközök villamos meghajtása, az elektromos energia, a jelenlegi akkumulátoroknál lényegesen kisebb szerkezeti tömegű és magasabb hatásfokú energiasűrűségű tárolását, illetve át- (oda-vissza) alakítását feltételezi. Ennek egyik lehetséges és ígéretes megoldása pl. a *hidrogénnel működő HPEM* (Hidrogen proton-exchange membrane – hidrogén proton áteresztő membrán) üzemanyagcella (38. ábra).





38. ábra. Földgázból létrehozott hidrogénnel működő HPEM-üzemanyagcella [8]

Ez a megoldás rendszerint két elektródából (anódból és katódból), valamint a köztük lévő elektrolit és katalizátor rétegekből áll. A folyamat során – amely a villamos árammal történő vízbontás fordítottja – a katalizátor (általában platina) segítségével a hidrogénmolekulák protonokra és elektronokra szakadnak szét. Ennek fázisai:

- az anódon hidrogén, a katódon pedig oxigén halad át;
- katalizátor segítségével a hidrogénmolekulák protonok és elektronokra bomlanak;
- a protonok keresztáramlanak az elektroliton és mielőtt az elektronok áramlása elérné a katódot, felhasználhatóvá válik az elektromos fogyasztók számára;
- a katódra érkező elektronok a katalizátor segítségével egyesülnek a protonokkal és az oxigénmolekulákkal, így iható minőségű vizet hoznak létre. A folyamatban semmilyen környezetkárosító anyag, hatás nem jön létre;
- energiatárolóként az akkumulátorok hatásfoka meghaladja a 90%-ot, a PEM-celláknál jelenleg ugyanez ~70%;
- inverter segítségével váltóáram is kinyerhető (természetesen veszteség mellett).

Az üzemanyag-átalakító (reformer) képessé teszi a rendszert, hogy az bármilyen szénhidrogén alapú üzemanyaggal működjön. A hidrogén helyett felhasználható alkohol is, ekkor az áram mellett víz és szén-dioxid keletkezik. Utóbbi miatt, környezetvédelmi, valamint nyersanyag-utánpótlási megfontolásból a hidrogéngáz alkalmazhatóságát preferálják.

Kedvező, hogy az üzemanyagcellákban – a hagyományos akkumulátorokhoz viszonyítva – azonos térfogatban kisebb szerkezeti tömeg mellett, lényegesen több energia tárolható. További előnyük a belső égésű motorokhoz képest, hogy hatásfokukat elméleti termodinamikai határok nem korlátozzák, míg a belső égésű motoroknál ezt a Carnot-ciklus⁶ által meghatározott termodinamikai határok szabják meg.

Természetesen a hidrogéngáz egységnyi térfogatra vonatkoztatott alacsony energiasűrűsége okozta tárolási nehézséget az üzemanyagcella működtetésénél is meg kell oldani (vö. 28. ábra). Ez abból adódik, hogy a hidrogén egységnyi tömegének energiatartalma (égéshője 119,324 kJ/kg) lényegesen magasabb, mint a keroziné (42,915 kJ/kg) vagy a benziné. Sűrűsége azonban (0 °C-on és normál környezeti nyomáson 101,3 kPa) rendkívül kicsi $\rho_{H_2} = 0,0899 \text{ kg/m}^3$. Így szobahőmérsékleten és normál nyomáson, 1 kg H_2 gáz tárolásához 12 m³-es tartályra lenne szükség.

Ebből adódóan energetikai célú felhasználása vagy cseppfolyósítva (kriogén formában, LH – Liquid Hydrogen) ami [(-253)÷(-262) °C] hőmérséklet-tartományba hűtve, vagy magas nyomású gázként (Gas Hydrogen – GH, a

bevezetendő szabványnak ajánlott 700 baron), esetleg e kettő kombinációjában cseppfolyósítva pl. 350 baron célserű. A cella működése szempontjából közömbös, hogy cseppfolyósított vagy gáz halmazállapotú hidrogénnel táplálják, mert a hidrogént tároló tartály és a PEM-cella között minden esetben elhelyezkedik egy nyomásszabályozó. (Amely a cellaműködés szempontjából optimális, 6 bar körüli értékre állítja be a hidrogén nyomását.)

A kriogén változatból 1 m³ tartálytérfogatban ~70 kg, 700 barra sűrítve, gázhalmazállapotban 40÷50 kg tömegű hidrogén tárolható.

Ebből adódóan hiába a hidrogén kerozinénál magasabb égéshője, rendkívül kis sűrűsége miatt a kerozinnal azonos energiameennyiség akár cseppfolyósítva, akár megnövelt nyomáson is csak 3,8–4,2-szeres tartálytérfogatban helyezhető el. Ráadásul kriogén alkalmazás esetén a tartályok aktív hűtése, magasnyomású gázként pedig – szilárdsági megfontolásból – a tárolótérfogat kizárólag hengeres és/vagy gömb kialakítása (39. ábra) nehezítené az optimális szerkezeti kialakítást. Utóbbi miatt pl. nem is lehetséges a szárnyban gázt tárolni.

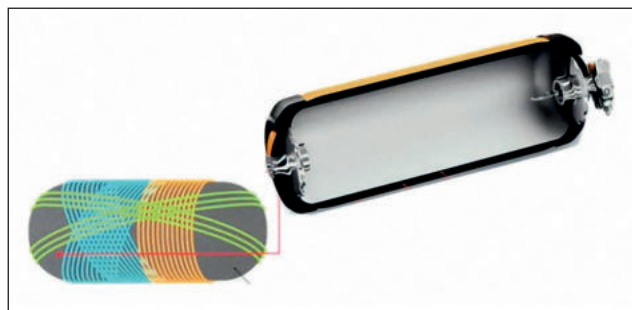
A kriogén üzemanyagtartály vastag passzív és folyamatos energiaigényű aktív hőszigetelést igényel. Állóhelyen a repülőgép feltöltve hosszabb ideig nem tárolható. A cseppfolyósított gázokkal üzemelő légi járművek tüzelőanyag-gal történő feltöltése (leszívása) különbözik a benzines és kerozinos rendszerektől és bonyolultabb is. A töltő-leszívó berendezés hermetikusan és hőszigetelten csatlakozik a repülőgép csatlakozójához. Az összekapcsolás előtt célszerű semleges gázrendszerből héliummal átfúvatni az összekötő csöveket és csatlakozókat annak érdekében, hogy a repülőgép tüzelőanyag-rendszerébe ne kerüljön levegő (O₂!). (Az üres tartályok feltöltése ugyan-csak a teljes rendszer héliummal történő átfúvatásával kezdődik).

Amennyiben a légi jármű hosszabb ideig tartózkodik az állóhelyen, a cseppfolyós H_2 halmazállapot-változásának megakadályozására vákuumszivattyúval a gázneművé vált, felmelegedett hidrogént elszívják, és helyére a tartályok folyadék feletti terébe hűtött LH-t vezetnek, vagy a tüzelőanyag-rendszer biztosító szelepe teszi lehetővé a felmelegedett, gáz-halmazállapotúvá vált H_2 távozását a szabadba. Ez a megoldás akár töltéskor, akár katasztrófa esetén kevésbé tűz- és robbanásveszélyes, de mindenképpen költséges. Zárt térben történő alkalmazása tilos.

Az üzemanyagcella táplálására használatos nagynyomású (350 és 700 bar), sűrített hidrogéngáz tartálytérfogatát biztonsági megfontolásból rendszerint több kisebb tartályból alakítják ki. A gázok fizikai sajátossága miatt ennek 6-9%-a nem is nyerhető ki.

A nagy belső nyomásból adódó szilárdsági követelmények miatt, a szénszálas kompozitból készült nagy falvastagságú tartály félgömbökben végződő hengeres szerkeze-

39. ábra. 700 bar üzemi nyomású hidrogéngáztartály [9]



ti kialakítású, amelynek belső falára külön tömítő réteget hordanak fel, kívülről pedig üvegszál-erősítésű bevonat hivatott a pontszerű becsapódásoktól (pl. lövedék) megóvni (39. ábra). Egy 5 kg, 500 bar nyomású H₂ befogadására alkalmas ilyen tartály üres tömege 87,5 kg. (Pl. ezek a műszaki jellemzői a Toyota legújabb hidrogén-üzemanyag-cellás, Mirai elnevezésű autójának).

Megjegyzés

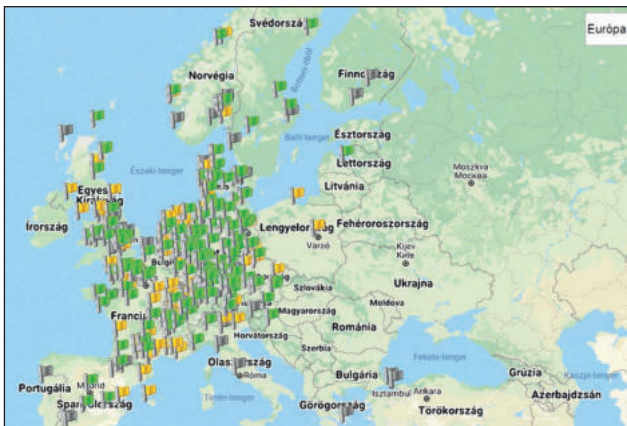
- a teszteken a tartályok a 80 km/h ütközést, a 150 tonna terhelést és (a nem részletezett paraméterekkel bíró) lövedékek becsapódását sérülésmentesen elviselték;
- ütközéskor a tartályokból a kivezetés azonnal zárul;
- a tartálycsoport a térfogatától függően ~10 perc alatt töltőkocsiról, palackból bárhol teljesen feltölthető;
- kis tömegű hidrogén akár helyben is előállítható viszonylag egyszerű, könnyen mobilizálható berendezéssel is (40 a) ábra). Gazdaságossági szempontból lényeges, hogy ilyenkor ~10 euró önköltséggel számítható 1 kg hidrogéngáz létrehozása. Természetesen ezt az összeget a rárakódó közterhek számottevően megnövelhetik;
- Nyugat-Európában már több mint 100 helyen léteznek 350 és 700 báros szabványos hidrogén-töltőkutak a közúti és városi közlekedésben (40 b) ábra), sőt hozzájuk standard töltőpisztolyt és csatlakozót is rendszerezítettek (40 c) ábra). A vízbontással működő kút esetén 1 kg hidrogén 14,4 liter vízből állítható elő, a 350 bar nyomású változathoz 46,8 kWh, 700 barhoz 68,4 kWh villamos áram szükséges (Ivys Simple Fuel töltő kút). A legkorszerűbb ipari vízbontók 35-40 bar nyomású H₂-t hoznak létre;



40. ábra. Hidrogénfejlesztő és -töltő berendezések [9]

- a hazai fejlesztés és alkalmazás nem elhanyagolható logisztikai hiányossága, hogy ilyenekből nálunk, sőt egész Közép- és Kelet-Európában jelenleg még egyetlen darab sincs, bár 2021-re kettő telepítésére van ígéret (41. ábra).

41. ábra. Hidrogén-üzemanyag-töltő kutak elhelyezkedése Európában (2021-es adatok szerint) [10]



- hidrogén üzemanyag alkalmazására vonatkozó NATO STO-⁷ és EDA⁸-kutatások jelenleg is zajlanak. Körvonalazódik egy európai együttműködés a hidrogénnel történő ellátás infrastruktúrájának polgári és katonai kiépítésére, amelynek hazai megvalósítása is elképzelhető mindkét változatban.⁹

A leggyakoribb hidrogén-előállítási eljárás legfontosabb része az elektrolízis, a vízből a hidrogén kinyerése. Ehhez ugyanis több áramot kell felhasználni, mint amennyi később, a hidrogén „elégetésekor” keletkezik. A valóságban jóval több áramot kell a rendszerbe juttatni, mint amennyi kinyerhető belőle. Ennek arányát további kutatásokkal próbálják csökkenteni. Környezetvédelmi szempontból lényeges, hogy az elektrolízishez használt áram honnan származik. A hidrogén előállításának költségei azonban lényegesen csökkenthetők, az így létrejövő elektromos áram „tisztává tehető”, ha a nyaranta – a hazánkban is támogatott és intenzíven fejlesztett tiszta, alternatív energiát szolgáltató – naperóművek energiafeleslegét hidrogénné alakítva tárolják tetszőleges ideig, majd amikor szükséges, feltöltik a járművek üzemanyag-celláiba. Természetesen ennek tagadhatatlan árnyoldala a több lépcsőben történő energiaátalakítás akkumuláló vesztesége. Amennyiben nem megújuló forrásból állítanak elő hidrogént – pl. hőerőműből nyert villamosárammal –, akkor a jármű csak lokálisan tekinthető környezetbarátnak, a károsanyag-kibocsátást csak „kiszervezi” az áramot előállító erőműbe. Jelenlegi elsődleges cél a karbonmentes (szennyezésmentes) előállítási, felhasználási ciklus megteremtése.

Mivel a hidrogén egységnyi tömegéből nyerhető égéshője 2,7-szerese a kerozinénak és igen kedvező az égési karakterisztikája is (lángterjedési sebesség, hőmérsékletmegoszlás), valamint egyetlen gáz, amelynek elégetésekor égéstermékeiből hiányoznak a szénhidrogének (3. táblázat), már az 1990-es évektől vizsgálták alkalmazási lehetőségét belsőégésű hajtóművek üzemanyagaként.

3. táblázat. Kerozin és cseppfolyósított hidrogén égési melléktermékei

Égéstermék	Kerozin	LH ₂
Elsődleges égéstermék	CO ₂ H ₂ O	H ₂ O
Égési melléktermék és az atmoszférával való reakciók termékei	HC → O ₃ NO _x → O ₃ CO → O ₃ SO ₂ → H ₂ SO ₄	H ₂ → H ₂ O NO _x → O ₃

1 kg kerozin elégetésekor 3,16 kg szén-dioxid (CO₂) és 1,25 víz (H₂O) keletkezik. 1 kg hidrogén elégetésekor 9 kg H₂O jön létre. 0,36 kg hidrogén 1 kg kerozinak megfelelő energia-tartalommal rendelkezik, ennyi hidrogén elégetése 3,21 kg vizet eredményez. A cseppfolyós hidrogén elégetése sem üvegházhatású CO₂-t, sem a kerozin elégetésekor keletkező más mérgező melléktermékeket nem hoz létre, kivéve a nitrogén-oxidokat. A hidrogénből azonban 2,6-szor több víz keletkezik, ami nagy magasságokban szintén kedvezőtlenül befolyásolja az üvegházhatást.

KIS MÉRETŰ eVTOL DRÓN MŰKÖDTETÉSE HIDROGÉNCÉLLÁVAL

A jelenleg beszerezhető legkorszerűbb akkumulátorok által biztosított rövid repülési időtartam, hatótávolság és ma-



gasság érdemi javítására a 20-40 kg felszálló tömegű drónok piacán is megjelent a hidrogén üzemanyagcellán alapuló elektromos táplálás. Az 5 perc alatt feltölthető, 5-6 literes, rendszerint ~300 baros gáztartály (42. ábra) az 5 kg hasznos terhet (pl. kamera) szállító repülőeszköz, a 140-160 perces folyamatos repülést is lehetővé teszi.



42. ábra. Rachel hidrogéncellával működtetett eVTOL oktokofter drón [11]

TERVEK UGRÁSRA KÉSZEN

Az Airbus – bízva az elektromos energia megfelelő energiasűrűségű tárolásának, gyors utántöltésének intenzív fejlődésében –, 2017-től megkezdte egy teljesen elektromosan meghajtott, városi közlekedésre (pl. repülőtér és belváros közötti relációba) szánt pilóta nélküli, robotüzemű eVTOL légi taxi terveinek kimunkálását úgy, hogy 2020-ra teszt-példányát is meg kívánták építeni. A CityAirbus 2019. 05. 03-án repült először (43. ábra).



43. ábra. Airbus vezetõ nélküli, eVTOL légi taxi (szerzõ montázs a [12] alapján)

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 Közszolgálati 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.



(Folytatjuk)

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Különböző energiahordozók energiasűrűsége. *Haszon magazin* 2017/10. 24. o.;
- [2] <https://www.hobbycity.hu/dji-agras-mg-t16-mezogazdasagi-permetezo-dron>;
- [3] „Fejlesztés alatt álló dróntöltő technológiák” *HVG* 2019.04.04. 35. o.;
- [4] Szerzői montázs az EWATT SPACE gyári videó és a „Fejlesztés alatt álló dróntöltő technológiák” *HVG* 2019.04.04. 35. o. felhasználásával.
- [5] Yang, Xiao-Guang, Teng Liu, Yue Gao, Shanhai Ge, Yongjun Leng, Donghai Wang, és Chao-Yang Wang. „Asymmetric Temperature Modulation for Extreme Fast Charging of Lithium-Ion Batteries”. *Joule* 3, sz. 12 (2019. december): 3002–19. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.09.021>;
- [6] <https://www.gettyimages.com/>;
- [7] Balogh Csaba, „Sok mindent megváltoztathat az Airbus új robotrepülője, amely 120 napig is a levegőben marad”. *HVG.hu*, 2018. július 25. https://hvg.hu/tudomany/20180725_airbus_zephyr_napelemes_repulo_dron_robotrepulogep_muhold.
- [8] www.newmango.com;
- [9] https://totalcar.hu/galeria/totalcar/technika/2015/10/20/technika_toyota_mirai/13;
- [10] <https://www.h2stations.org/stations-map/?lat=49.763948&lng=12.582221&zoom=4&Continent=EU&StationID=-1>;
- [11] <https://www.rotorandwing.com/2019/01/09/hydrogen-cells-best-batteries-hour-long-drone-test-flight/>;
- [12] <https://www.motor.com.co/actualidad/tecnologia/airbus-perfecciona-taxi-autonomo-volador/27573>.

JEGYZETEK

- 3 Az IP-védettség: International Protection Marking vagy Ingress Protection Code – nemzetközi védettségjelölés. A műszaki berendezések tokozásának környezeti behatások elleni védettségét jelzi. Magyarországon az MSZ EN 60529:2015 „*Villamos gyártmányok burkolatai által nyújtott védettségi fokozatok*”, a nemzetközi besorolásban az IEC 60529:1989 szabvány írja le.
- 4 École Polytechnique Fédérale de Lausanne – Svájci Szövetségi Technológiai Intézet, Lausanne
- 5 www.wibotic.com – Wireless Power Solutions for Robotic Systems
- 6 A Carnot-ciklus (N. L. Sadi Carnot 1796–1832 francia fizikus, mérnök) egy speciális termodinamikai körfolyamat, amely két izoterm, valamint két adiabatikus szakaszból áll.
- 7 NATO Science and Technology Organization – a NATO Tudományos és Technológiai Szervezete.
- 8 European Defence Agency – Európai Védelmi Ügynökség.
- 9 A NATO-n belüli kutatásokat nehezíti a „Single Fuel Conception”, aminek értelmében műveleti területre logisztikai megfontolások alapján kizárólag kerozint szállítanak. Az EDA fogja össze a RESHUB (Resilience HUB) projektet, amelynek résztvevői: Szlovénia (vezető nemzet), Ausztria, Németország, Belgium és Magyarország. A megvalósíthatósági tanulmányok elkészítésére már rendelkezésre áll a támogatási összeg az EU strukturális alapjából, de a koronavírus-járvány miatt csúszik a végrehajtás. Ha a tényleges kivitelezésre is sikerül EU-s forrást bevonni, akkor 2023-ban 5 honvédségi objektumban lehet majd hidrogént (is) tankolni.

Ing. Nikola Chovančíková* – prof. Ing. Zdeněk Dvořák – PhD.**, doc. Ing. Bohuš Leitner, PhD.***

Safety indicators as a basis for increasing the resilience of critical infrastructure

INTRODUCTION

Critical infrastructure is a very large and complicated system that is increasingly attracting the attention of the general public in the 21st century. The current functioning of critical infrastructure (CI) elements can be negatively affected by the various threats that exist in society. The energy network, the transport network, information and communication systems, and many other establishments are classified as “critical infrastructures” which are necessary for the maintenance of vital social functions. Damage or destruction of CIs by natural disasters, terrorism, and crime can have negative effects on the safety of the European Union (EU) and the well-being of its citizens. Under Directive 2008/114 EC, critical infrastructure has been defined as an asset or system that is necessary to maintain vital social functions without which the functioning of the state would be significantly disrupted [1]. Due to the great importance of critical infrastructure elements for the functioning of the country’s economy, it is necessary to increase their safety. The way to increase safety is to focus on the assessment of resilience. The article deals with the design of a framework for the evaluation of static resilience, which aims to create a basis for a possible solution to enhance the dynamic resilience of CI elements. The complexity of the solution should be determined by a framework based on the pillars of safety and protection.

JUDICIAL ANALYSES OF CRITICAL INFRASTRUCTURE PROTECTION IN SLOVAKIA

In the past, the term critical infrastructure was not used in the Slovak Republic. Instead, such establishments and systems were generally referred to as important or vital infrastructure. The first milestone that can be considered as a serious step to deal with the issue of CI in Slovakia is the year 1999. In 1999, the central state administration

bodies under the responsibility of the Ministry of the Interior of the Slovak Republic began to address the issue of CI. The primary task was to develop and coordinate the activities needed to ensure the protection of critical infrastructure, or vital infrastructure. Vital infrastructure was also addressed in Act no. 319/2002 Coll. on the defence of the Slovak Republic, in which §27 identified objects of special importance, which can historically be considered as the first elements of CI. Objects of special importance were within the framework of Act no. 319/2002 defined as strategic objects of defence infrastructure, the damage or destruction of which will limit the provision of state defence [2].

The very process of developing a legal instrument to address the problem of critical infrastructure security began with the approved document Concept of CI in the Slovak Republic and the method of its protection and defence. The concept was approved by Resolution no. 120 of 14 February 2007 of the Government of the Slovak Republic. Further adjusted in the process of the development of CI issues, the National Program for Critical Infrastructure Protection and Defence in the Slovak Republic was prepared in 2008. The program identified and detailed nine sectors of critical infrastructure located in Slovakia. The current legal instrument regulating the issue of CI is Act no. 45/2011 on Critical Infrastructure, the aim of which is in line with Directive 2008/114 / EC to improve the existing protection of critical infrastructure, in particular against the stronger threat of terrorist attacks [3] [5]. In order to improve the protection of critical infrastructure, two guidelines have emerged, which are rather of a recommendatory nature. Operators of CI elements can follow the given guidelines when implementing safety measures and handling sensitive information. The first guideline is Methodological guideline no. 29014 / 2014-1000-53190 MH SR on safety measures for the protection of CI elements in the energy and industry sectors. The second methodological guideline regulating the conditions of work with sensitive information is Methodological Guideline no.

ÖSSZEFOGLALÁS: A cikk a kritikus infrastruktúra védelme területén végzett kutatások eredményeit taglalja. A rugalmassági kutatás célja a statikus ellenálló képesség értékelési kereteinek létrehozása. A megoldás bonyolultságát ez a védelem (veszélytelenség, üzembiztonság) és a biztonság pilléréiből adódó keret határozza meg. A cél a kritikus infrastruktúra-létesítmények rugalmasságának dinamikus értékeléséhez szükséges műszaki előfeltételek megteremtése.

KULCSSZAVAK: statikus rugalmasság, a biztonság pilléréi, kritikus infrastruktúra

ABSTRACT: The article discusses the results of research in the field of critical infrastructure protection. The resilience research is aimed at creating a framework for the assessment of static resilience. The complexity of the solution should be given by the framework, which derives from the pillars of safety. The aim is to create technical prerequisites for a possible dynamic assessment of the resilience of critical infrastructure facilities.

KEY WORDS: static resilience, pillars of safety, critical infrastructure

* University of Zilina, Faculty of Safety Engineering, Department of Technical Sciences and Informatics, 1. May 32, 010 26 Zilina; nikola.chovancikova@fbi.uniza.sk; ID: <https://orcid.org/0000-0002-1982-6115>

** University of Zilina, Faculty of Safety Engineering, Department of Technical Sciences and Informatics, 1. May 32, 010 26 Zilina; zdenek.dvorak@fbi.uniza.sk; ID: <https://orcid.org/0000-0002-8320-1419>

*** University of Zilina, Faculty of Safety Engineering, Department of Technical Sciences and Informatics, 1. May 32, 010 26 Zilina; bohus.leitner@fbi.uniza.sk; ID: <https://orcid.org/0000-0001-5314-5666>



08884 / 2018-1021-04943 of 7 March 2018 of the Ministry of Economy of the Slovak Republic on the protection of sensitive information on critical infrastructure and on the manner of handling this information in the conditions of the operator of the CI element of infrastructure in the energy and industry sectors. In connection with the protection of information, it is necessary to mention Act no. 69/2018 Coll. on Cyber Safety and on Amendments to Certain Laws Related to Critical Infrastructure [4]. In addition to legislation, there is a need to focus on possible ways to increase the safety of CI elements. An increase in the safety of CI elements can be achieved by increasing their resilience. Resilience ensures that the elements retain their basic functions even under the influence of adverse events and helps to prevent a failure of the overall infrastructure network.

LITERATURE REVIEW

Scientific and professional literature has a large number of definitions for resilience. In most cases, the definition of resilience is adapted to the study area. In the area of critical infrastructure, it is appropriate to follow the definition developed in the Critical Infrastructure Resilience Final Report and Recommendations of 2009. Resilience is defined as the ability to absorb, adapt and / or recover rapidly from a potential adverse event [6]. Resilience has been addressed by many authors abroad. In the Czech Republic, the book Resilience of Critical Infrastructure: Theory, Principles and Methods was published, focusing on the issue of resilience of critical infrastructure. Dávid Řehák, in cooperation with a team of experts in the publication of the book, presents the critical infrastructure system, which includes the definition of the development of CI, the description of individual links in the system and the network layout of CI. A substantial part of the book is devoted to defining resilience in the CI system and evaluating cascading and synergistic effects in the CI system. The authors developed the CIERA method to evaluate the resilience of CI elements. The method makes it possible to quantify the level of robustness, adaptability and recoverability for different types of threats and from this determine the resulting level of resilience of the element. In the paper Resilience of Critical Infrastructure Elements and Its Main Factors, the authors focus on defining the conditions for building and strengthening the resilience of critical infrastructure elements. Subsequently, the factors determining the resilience of the elements are identified. The article concludes with case studies focusing on the energy, gas, ICT and road transport sectors [7]. Virenda Proag in Assessing and Measuring Resilience also assesses and measures the resilience of critical infrastructure elements. The publication deals with infrastructure systems that affect our daily lives, and thus draws attention to the problem of resilience. To define, quantify, and design an overall design to improve resilience, it focuses on properties such as absorption, adaptation, and recovery. The paper also includes steps to carry out an assessment of the resilience of socio-economic systems, e.g. defining the system – understanding the components of the system and how resilience affects the system, evaluating resilience – identifying the recovery path and performing recovery using models, etc. Furthermore, the publication lists indicators within the individual infrastructures, e.g. rescue services – number of lives saved, telecommunications – number of interrupted telephone calls and others. The publication includes a quantitative and qualitative assessment of resilience. In quantitative assessment, it addresses the effectiveness of resilience, and

in qualitative assessment, a risk analysis is performed to identify the sources of risk [8]. In other publications, the issue of increasing the safety of critical infrastructures is addressed by Vidriková and colleagues in the book Critical Infrastructure and Integrated Protection [9]. The first results on the topic of safety indicators were published by the authors in the publications Indicators as a Tool for Evaluating the Pillars of the Safety Management System and in the article Research of Safety Management Indicators [10] [11].

Regarding the resilience of critical infrastructure, it is relatively safe to say on the basis of the analysis of available information sources that no one has so far comprehensively addressed this issue in Slovakia. That is why there is enough space here for new ideas that would be able to take the question of resilience and the protection itself to a higher level. Therefore, we think that creating a framework for assessing static resilience will have its benefits for practical purposes as well.

MATERIALS AND METHODS

When processing the framework for the evaluation of static resilience and the subsequent creation of assumptions for the solution of dynamic resilience, we propose to start from the pillars of safety, see Figure 1. The safety pillars make it possible to comprehensively cover the area of protection and defence of elements. By increasing resilience, we can also increase the safety of CI elements.

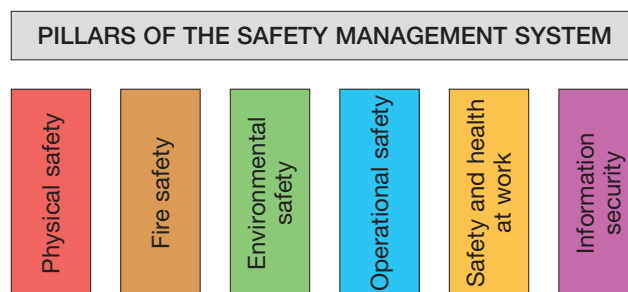


Figure 1 Pillars of the safety management system [12]

Within the individual pillars of safety, indicators will be set that are specific to the given area and determined by the entire area of complex coverage. The values of individual indicators would be determined fixedly on the basis of Table 1. The values of all indicators are added together and calculated as a percentage. The height of the static resilience value is determined according to Table 2.

The above three-level evaluation is more suitable for experts in practice; in our experience, a five-level scale would be too detailed. The aim of the practice is to gradually improve the setting of parameters so that most of the indicators used in practice are evaluated effectively.

The setting of the boundaries for the overall evaluation was determined by a group of experts, with the proviso that the stated values are recommended to be set again for a specific solution according to national and company practices.

RESULTS

Based on the performed analysis and expert discussions, we came to the conclusion that the solution of static resilience through safety pillars has a real informative value

Table 1 Indicator rating scale (created by authors)

Verbal expression	Description	Value
Excellent	The indicator rated 1 (excellent) is a sign of quality assurance and coverage of all important requirements within the evaluated area. It is not characterized by serious deficiencies that would affect the deterioration of the value of the indicator.	1
Good	An indicator rated 2 (good) is a sign of good safety, but some areas are not sufficiently covered and may represent potential sources of risk in the future. It is characterized by minor shortcomings.	2
Bad	An indicator rated 3 (bad) is a sign of unsatisfactory safety. Some indicators are not covered at all. It is characterized by shortcomings that can have a significant impact on reducing the durability of the object.	3

Table 2 Overall evaluation of the level of resilience of the object (created by authors)

Value	Verbal expression	Description
33%-57%	Excellent level of resilience	Objects included in this group are characterized by high to very high static resilience within the individual evaluated pillars. Their shortcomings are defined and have no impact on the effectiveness of the evaluated object.
58%-79%	Good level of resilience	Objects included in this group are characterized by a good level of resilience within the individual evaluated pillars. The evaluation identified a number of shortcomings which partially reduced the level of resilience in the pillars. These shortcomings need to be remedied in the future by taking preventive measures, as they may represent the possibility of disrupting some functions of the building.
80%-100%	Bad level of resilience	Objects included in this group are characterized by low resilience within the evaluated pillars. Deficiencies can represent significant sources of risk that can lead to disruption of the operation of the object.

in practice. The proposed evaluation of individual indicators is relevant and the relevant values can adequately evaluate the given indicator. An increase in the informative value of indicators leading to the evaluation of the resilience of a given area can be achieved by an arithmetic mean. Arithmetic averages in the pillars of physical, fire, environmental, information safety, operational safety and health and safety will be applied in the final evaluation of resilience. An example of the application of the proposed method will be given in the following part of the paper in the case study. When studying the issue, the first impression is that it is a too subjective form of evaluation. Therefore, it is necessary to perform several evaluations on real objects. These case studies aim to set real practice-friendly values in an appropriate way.

CASE STUDY

The paper deals with the design of a method for assessing static resilience through the use of safety pillars. The proposed method of static resilience assessment will be applied to a potential element of critical infrastructure. In the case study, only 12 indicators will be included, i.e. two indicators will be set in each area. To ensure a comprehensive informative value, it is necessary to have at least 20-30 indicators in each area.

The proposed procedure will be applied to the Varín power plant, which is a very important element of the electrical infrastructure and can even be considered as a potential element of critical infrastructure. The display of the evaluation of individual areas is given in *Table 3*. The evaluation given in *Table 3* includes the research results that were collected by the authors.

The evaluation based on the set indicators has led to the conclusion that the object has an excellent level of resilience, because its final value is 42% and is in the range

of 33%-57%, see *Table 2*. In reality, the building is characterized by high durability because it is a relatively new building, which is very important for the energy infrastructure, and it is constantly maintained and undergoing modernization. If there are any shortcomings, they are certainly minimal and do not have a significant impact on reducing the durability of the object.

DISCUSSION

The objectification of safety, vulnerability and resilience assessment is a common research topic. Teams of researchers around the world are looking for effective methods, procedures and tools to realistically measure safety, vulnerability and resilience. In each real life event, everyone evaluates the subjective safety assessment separately. The level of threat perception is different for each person. The objectification of evaluation is therefore very complicated because it requires a comprehensive approach. In the research conducted at the University of Žilina, we came to the conclusion that in principle, two approaches are possible in the creation and design of indicators for measuring the level of safety, vulnerability and resilience.

The first requires the measurement of specific physical quantities and the setting of limits for excellent (green), good (orange) and unsatisfactory evaluation (red). As an example, it is possible to mention the ambient temperature for a building located in Žilina (northwest of the Slovak Republic). During the year, temperatures from -5 to +30 degrees are common here. In this range, it is possible to evaluate the outdoor temperature excellent (green) depending on the season. If an anomaly occurs when negative temperatures drop to -15 to -6 degrees, or positives rise above 30 to 35 degrees, then it is possible to rate the temperature as good (orange), all other cases would be rated as unsatisfactory (red). Extreme negative



Table 3 Design of a comprehensive resilience assessment (created by authors)

PILLAR	INDICATOR	DESCRIPTION	VALUES	RESULT VALUE
Physical safety	Unauthorized entry into the premises	a) the building is 400 m away from the access road, which is separated by a barrier and a fence. The entrance is checked by an employee at the gatehouse. Including camera system.	1	1
		b) the building is separated from the access road by a barrier and a fence. The barrier is opened by attaching an employee card. There is no camera system that records the movement of vehicles.	2	
		c) access to the premises is not protected by a barrier, physical protection, camera system.	3	
	Fencing the perimeter of the complex	a) the perimeter fencing of the premises is made of welded panels in combination with other wire	1	1
		b) the fencing of the perimeter of the area is made of plastic-coated mesh, including a system for detecting the crossing of the fence, e.g. microphone cable	2	
		c) the perimeter fencing is made of plastic-coated mesh	3	
Fire safety	Equipment of the building according to the regulations on fire safety of the building	a) The building is equipped in accordance with applicable fire safety regulations. They abound with all basic and prescribed equipment for indicating and extinguishing fire in the building. According to valid standards.	1	1
		b) The building is equipped with valid fire safety regulations. They abound in basic equipment for indicating and extinguishing fire in the building.	2	
		c) The building is equipped with fire safety regulations. They provide only the necessary and most necessary equipment for indicating and extinguishing a fire.	3	
	Electrical fire alarm system	a) Equipment of the building in each production (steamboiler space, steamturbine, ...) and non-production space (offices, halls, ...) with electric fire alarm	1	1
		b) The electric fire alarm system is installed only in the production premises, i.e. only where there is the highest probability of a fire	2	
		c) The building is not equipped with electric fire alarm due to high financial resources	3	
Environmental safety	Periodicity of drainage system inspection	a) The drainage system and its maintenance in terms of protection of the building is complied with in accordance with all regulations, emphasis is placed on inspections, prevention in all directions. Inspection and maintenance is performed once a month or as needed.	1	2
		b) The drainage system and its maintenance are inspected as needed and according to meteorological conditions. Inspection and maintenance is performed once every six months or if necessary.	2	
		c) Drainage system and its maintenance is insufficient or none at all (it is neglected, the runways are often flooded). Inspection and maintenance is performed once a year or if necessary.	3	
	Threat to the building by floods	a) The building is located in very good outdoor conditions and there is no risk of flooding near the building (eg on a hill)	1	1
		b) The object is located near a river or water reservoir, but in case of floods the object can be endangered only by the least risk	2	
		c) The building is built in very close proximity to the river or in a location where there is a high flood risk (a few meters from the river)	3	

PILLAR	INDICATOR	DESCRIPTION	VALUES	RESULT VALUE
Operational safety	Occurrence of malfunction of the system for proving identity? check-in	a) "Check-in" or identity verification works at a top level, without more serious failure. The technology is more modern and the failure rate is minimal (once every 5 years).	1	1
		b) "Check-in" or identity check works at a high level, without failure. The technology is modern, but not as before, failures can occur (once every 1).	2	
		c) "Check-in" or identity check works at a sufficient level, failures are more frequent. The technology is outdated and the failure rate is very likely. (once every six months).	3	
	Time interval for maintenance of facility equipment	a) Maintenance of production process equipment is performed at intervals (4 months)	1	2
		b) Maintenance of production process equipment is performed at intervals (12 months)	2	
		c) Maintenance of production process equipment is performed at intervals (24 months)	3	
Safety and health at work	Expertise of employees	a) The employees of the building have all mandatory training, which is a basic prerequisite for the quality performance of security protection of the building. They are retrained regularly, exactly according to valid standards.	1	1
		b) The employees of the building have provided only the necessary and basic training for the quality performance of the safety of the building protection. They are retrained as needed, or at the request of the employer, according to applicable standards.	2	
		c) The employees of the building have only basic training provided, for sufficient performance of the safety of the building protection. They are trained at the request of the employer.	3	
	Failure to use personal protective equipment in the workplace	a) The regulation is drawn up, complied with and wears personal protective equipment in accordance with it	1	1
		b) The regulation is drafted, they do not comply with it, but they wear personal protective equipment	2	
		c) The regulation is not drafted, therefore personal protective equipment is not observed and is not worn	3	
Information security	Protection against misuse of data and information	a) The object has a complete backup of data, which is understood as a process in which copies of source data are created, can usually be stored in a different storage than the source data. The main reason for backup, in contrast, is the fast recovery of source data.	1	2
		b) Data backup is performed only when necessary and not all data is backed up, but only necessary.	2	
		c) Insufficient security against loss of data and information. The loss of any company data can mean great financial damage for a given company, or in extreme cases even liquidation	3	
	Security information software for information flow processing	a) The object of interest has a secure software solution for information flow together with a professional administrator for incident resolution,	1	1
		b) The object of interest has a secure software solution for information flow without a professional administrator for incident resolution,	2	
		c) The object of interest does not have a secure software solution for the information flow and does not even have a designated person to deal with incidents,	3	
Sum				15
Percentage expression of resilience				42%
Verbal expression of resilience value				Excellent level of resilience



and positive temperatures affect not only people, but also technical systems and operating technologies.

The second approach is applied when it is not possible to measure real physical values; then an expert evaluation takes place, which requires the team of experts to determine the current evaluation for the proposed indicators with points of 1, 2 or 3.

To explain the practical use, if we choose, for example, road transport presented by individual use of passenger cars, or public transport presented by buses, then winter temperatures below minus 15 degrees in possible combination with wind and snow are a big problem. Measuring real outdoor temperatures is a standard task, a combination with wind (it is necessary to set the limits in m/s) and snow (it is necessary to set the limits of snow intensity).

Temperatures below minus 15 degrees are unique to our conditions and have a short duration. If, however, temperatures below minus 15 degrees came for ten or more days combined with heavy snowfall and strong winds, then it is possible that this would significantly reduce road traffic in the region concerned.

CONCLUSION

Safety research is a multidisciplinary and multi-level issue. The first step is to define the place (system) where we want to examine safety. In the past, experience has been crucial for safety decisions. Every entrepreneur / manager considers safety to be something that reduces profits and creates barriers to free enterprise. Sooner or later, everyone will face real safety issues. Their scope is presented in the article by the individual pillars of the safety management system. These six pillars are the basic framework within which the individual indicators have been prepared and tested.

The main intention of the researchers is to open a professional discussion in order to objectify the measurement of safety for the future. Our vision is that, thanks to the technology of the Internet of Things and the Internet of Everything, usable real-time physical measurements will be available in a short time. The measured values of individual quantities will be shared in expert information systems, where they are used by safety managers to support decision-making. In case of unavailability of some quantities, it will be possible to use learning software tools, where the initial values are set by experts and will be gradually improved by learning software. The goal should be to create expert information systems that will help safety managers in real time to decide how to proceed at a given moment. For the future, a technical standard should be prepared to address various scenarios in detail in order to enhance the safety of critical infrastructure.

ACKNOWLEDGEMENT

Publication of this paper was supported by project IGP 2019/02 Proposal for a methodology for assessing the resilience of infrastructure object in the transport sector.

REFERENCES

- [1] Official Journal of the European Union. "Council Directive 2008/114/EC of 8 December 2008 on the identification and designation of European critical infrastructure and the assessment of the need to improve their protection." Accessed March 3, 2021. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:345:0075:0082:EN:PDF>, (Accessed 15.3.2021);
- [2] Legal and information portal. "Act No. 319/2002 Coll. Defence of the SR as Amended." Accessed March 3, 2021. <https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2002/319/>, (Accessed 15.3.2021);
- [3] Legal and information portal. "Act No. 45/2011 Coll. Regarding Critical Infrastructure." Accessed March 3, 2021. <https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2011/45/20210301>, (Accessed 15.3.2021);
- [4] Legal and information portal. "Act No. 69/2018 Coll. On Cyber Safety and on Amendments to Certain Acts." Accessed March 3, 2021. <https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2018/69/20200701>, (Accessed 15.3.2021);
- [5] Ministry of Interior of the Slovak Republic. "Critical infrastructure Protection." Accessed March 3, 2021. https://www.minv.sk/?Ochrana_kritickej_infrastruktury, (Accessed 15.3.2021);
- [6] National Infrastructure Advisory Council. "Critical Infrastructure Resilience Final Report and Recommendations." Accessed March 3, 2021. <https://www.cisa.gov/sites/default/files/publications/niac-critical-infrastructure-resilience-final-report-09-08-09-508.pdf>, (Accessed 15.3.2021);
- [7] Řehák David, Senovsky Pavel, Slivkova Simona. "Resilience of Critical Infrastructure Elements and Its Main Factors." [online]. *Systems* 6, no.2 (May 2018):1-13. <https://doi.org/10.3390/systems6020021>, (Accessed 15.3.2021);
- [8] Proag Virendra. „Assessing and Measuring Resilience.“ *Procedia Economics and Finance* 14, no. 18. (December 2014): 222-229. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(14\)00934-4](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00934-4), (Accessed 15.3.2021);
- [9] Vidrikova, Boc, Dvořák and Řehák. *Critical Infrastructure and Integrated Protection*. 1st edit. Ostrava, Czech Republic: The Association of Fire and Safety Engineering, 2017;
- [10] Chovančíková and Hoterová. "Indicators as a tool for assessing the pillars of the safety management system." *The Science for Population Protection* 12, no.1 (October 2020);
- [11] Dvořák and Chovančíková. "Research of safety management indicators." *Technium social sciences journal* 8, no. 1 (June 2020);
- [12] Belan Lubomír. *Safety management. Safety and risk management*. University of Zilina, 2015.

A HADITECHNIKA folyóirat előfizethető:

valamennyi postahivatalban; e-mailen: hirlapelofizetes@posta.hu; faxon: 303-3440, illetve: ugyfelszolgalat@hmrzinyi.hu, telefon/fax: 2124540.

A szerkesztőség új telefonszáma: 224-8306.

Nagy Imre*

Felfegyverzett gépjárművek alkalmazása az afrikai és más helyi konfliktusokban

II. rész

A szerző tanulmányának első részében a civil gépjárművek felfegyverzésének 20. századi történetét tekintette át. A világ első felfegyverzett és páncélozott járműve a második búr háborúban, 1902-ben hadba vetett Simms-féle páncélozott gépjármű volt. A II. világháború után a nagyfokú mobilitás és rugalmasság már természetes igényként mutatkozott. Az elmúlt évtizedek helyi konfliktusairól szóló híradásokban rendszeresen felbukkannak eredetileg civil használatra gyártott vagy éppen katonai, de más feladatkörű rögtönzött módon páncélozott és/vagy felfegyverzett (leginkább szállító) terepjárók, pick-up járművek, teherautók. A cikk első része az öbölháborúban, valamint 1991-ben Szomáliában bevetett eszközök bemutatásával zárult. A második rész a 21. század konfliktusait veszi sorra, és részletesen ismerteti a helyi erők átalakított civi gépjármű típusait és az azokra telepített harceszközöket.

Európában – a délszláv háborúban és Csecsenföldön – leginkább eseti jelleggel használtak teherautó platformra helyezve ZU-23 és ZPU légvédelmi gépágyúkat. A Kaukázusban az orosz légierő korlátlan légi fölénye és harci helikoptereik mennyisége miatt is szükség volt ezekre az eszközökre.

Afganisztánban a különleges rendeltetésű erők az ún. Szpecnaz-egységek (*Во́йска специа́льного назначения*, röviden: *спецназ*) használtak a mudzsahedektől zsákmányolt amerikai és iráni gyártmányú járműveket, leggyakrabban AGS-17 gránátvetővel és DShK géppuskával felszerelve, vagy Ural-4320 teherautót ZSU-23-2 légvédelmi gépágyúval, máskor Kord nehéz géppuskával. A vezetőfülkét repeszálló mellényekkel bélelték körbe, a platót pedig homokzsákokkal védték. A szovjet kivonulást követően a hadurak között kitört a hatalmi harc. Bizonyos csoportok a pakisztáni titkosszolgálat adományaként érkezett terepjárókat használták, míg a harcból győztesként kikerülő tálibok Toyota Hiluxokat és Land Cruisereket szerelték fel fegyverekkel. Sőt, ezekre a típusokra ugyanúgy a megbízható minőség jelképeként tekintettek, mint az AK-47-es gépkarabélyokra. [11] A 2001-es amerikai támadás a terepjárók többségét megsemmisítette, a megmaradt példányokat pedig gondosan rejtve csak egy-egy támadás idejére hozták elő. 2009 augusztusában éppen egy ilyen járműre telepített ZPU-1-essel sikerült lelőni a Brit Királyi Légierő egyik Chinook helikopterét Sanginnál, Helmand tartományban. Az amerikai különleges erők a Toyota Tacoma típusokat használták 2001-ben, mert ezek voltak nagyobb számban hozzáférhetőek. A cseh speciális erők pl. AGS-17-essel és a PKM-mel felszerelt Hiluxokat, a britek Land Rover Defendereket vetettek be. Ezeket a járműveket már a felhasználó katonák és a parancsnokságok igényei szerint alakították ki, így a gépkö-

csikat kommunikációs, navigációs és álcázó eszközökkel is ellátták. Afganisztánban az ANA (Afghan National Army – Afgán Nemzeti Hadsereg) és az ANP (Afghan National Police – Afgán Nemzeti Rendőrség) erőinél több százas nagyságrendben rendszeresítettek Ford Ranger terepjárókat is, amelyeket főként PKM géppuskákkal szereltek fel.

2003-ban az iraki hadsereg és félkatonai erők több rajtaütést végeztek felfegyverzett pick-upokkal, mérsékelt sikerrel. A támadásoknak számos civil esett áldozatul, mert az amerikaiak tévesen azonosítottak hasonló megjelenésű járműveket. A háború hagyományos szakaszának lezárulta után az amerikai biztonsági cégek szerződéses fegyveresei – közsímet nevükön a „kontraktorok” – a VIP-személyek és konvojok kísérésére elsősorban Toyota Tacomákat használtak. Később az amerikai segély részeként az új iraki rendőrség Nissan és Ford F350 terepjárókkal gazdagodott, amelyeket PKM-ekkel felfegyvereztek fel, miközben a másik oldalról a síita milíciák kaptak iráni dotációként Safir dzsipeket.

Csádban 2006 áprilisában újabb polgárháború tört ki. 2008 februárjában a felkelő csoportok 2000 fegyverese, mintegy 250–300 db felfegyverzett járművön 1000 km-t megtéve a sivatagban, betört a fővárosba, N'Djaménába. Napokig folytattak heves harcokat az elnöki palotát védelmező harckocsizókkal, mielőtt visszavonulásra kényszerültek.

2008 májusában a szudáni Darfúr térségében zajló öszszecsapásokban a kormányellenes Igazság és Egyenlőség Mozgalom (JEM) egy, az ország fővárosa, Khartoum, és az elővárosa, Omdurman mellett végrehajtott rajtaütésnél különböző források szerint mintegy 130–300 db felfegyverzett járművet vetett be. Nemcsak az Arbain bázis és a Wadi-Szajedna repülőteret, de az elnöki palotát és a parlament épületét is veszélyesen megközelítették. A kormánycsapatok csak nagy nehézségek árán tudták visszaverni a meglepetésszerű támadást.

A 2011 óta zajló líbiai polgárháborúban is hatalmas szerephez jutottak a Nissan, Mitsubishi, Toyota és a kínai Zhongxing gyártmányok, mind a Kadhafi-rezsim megdöntésekor kitört, mind az azt követő belharcokban. (6., 7. ábra.) Helyi sajátosság, hogy itt sokszor repülőfedélzeti fegyverzetet (gépágyú, nem irányított rakétakonténer) is felszerelték a járművekre. Még a csádi harcok veteránja, a jelenlegi „erős ember”, Khalifa Haftar tábornok is nyilvánvalóvá tette, hogy a tréleren szállított harckocsik mellett a tömegesen felfegyverzett terepjárók adják seregének fő erejét.

A szíriai polgárháborúban minden résztvevő fél alkalmazott felfegyverzett járműveket. A kormányerők a Hyundai Mighty kisteherautóktól kezdve a légvédelmi gépágyús Kamazokig többféle fegyvert is bevetnek a felkelők ellen, akik pedig azzal védekeznek, amivel tudnak. A polgári for-

* Törzsőrmester, MH Altiszti Akadémia Nemzetközi Kiképző Alosztály Counter-IED kiképző altiszt, NKE HHK – Hadtudományi Doktori Iskola doktorandusz. ORCID: 0000-0002-1420-4296





6. ábra. A Khalifa Haftar tábornokkal szemben álló milícia tagjai járműveik mellett állnak Zawiya mellett, Tripolitól nyugatra, Líbiában [18]



7. ábra. A másik oldal: a líbiai egységkormány járőre DShK géppuskákkal, ZU-23 légvédelmi gépágyúkkal és hátrasiklás nélküli löveggel ellátott terepjárókkal [19]

galomban széleskörűen elterjedt Kia-kat és Datsun-okat könnyű fegyverzettel látták el, míg az ISIS nagyobb teherautókat improvizált rakétameghajtású lövedékekkel (IRAM – *Improvised Rocket-assisted Munition*) tett kilövésére alkalmassá, illetve zsákmányolt rendőri és katonai járműveket alakítottak át változatos módokon az aktuális harcfeleladatok és technikai lehetőségeknek megfelelően. [12] A nem irányított rakéták hajtóműveit olyan házilagosan készített robbanófejekkel szerelték, amelyekhez repeszekkel vagy gúlylékony gázzal töltött gázpalacktesteket használtak fel.

Az észak-afrikai Száhel régióban aktív al-Kaida, és az Iszlám Államhoz kötődő helyi csoportosulások gyorsan mozgó rajtaütő kommandói is komoly nehézségeket jelentenek az olyan konfliktusokkal teli államoknak, mint Mali, vagy Nigéria. Ezek az országok alig rendelkeznek felderítő képességekkel, légierővel, különleges műveleti erőkkel és mozgékony tartalékokkal, nem képesek a hatalmas térségeket teljesen ellenőrizni. A lázadóknál felfegyverzett terepjárók ugyan nem pótolják a tüzérség vagy harckocsik hiányát, de fontos részkittető szerepük van. A felkészületlen ellenféllel szemben láthatóan jól teljesítenek. Ugyanakkor a jobban kiképzett etióp hadsereg pl. az al-Shabaab rajtaütéseit számtalan esetben eredményesen hátrította, és az amerikai katonák is hatékonyan semlegesítették világszerte az ilyen jellegű támadásokat. Eközben ők maguk is igyekeznek a célszerűen átalakított és felfegyverzett civil járművekben rejlő előnyöket kihasználni. A világ különleges műveleti erői mellett a gépesített és felderítő kötelékek is széleskörűen használnak ilyen eszközöket, de már nem civil autót alakítva át, hanem eleve számukra tervezett és gyártott típusokat, mint a brit Land Rover Wolf WMIK, a Jackal, az osztrák Steyr-Puch Pinzgauer, vagy a francia Renault Sherpa és Technamm Masstech.

Oroszország UAZ-3163-asokat alkalmaz a szír sivatagban és városokban való járőrözésre és szállítmánykísérésre. Ezeket a járműveket Kord nehéz géppuskával, vagy AGS-17 automata gránátvetővel is felszerelhetik. Fokozatosan ilyen fegyverekkel látják el a könnyűdandárokat és békefenntartó erőket is. [13]

Az amerikai csapatok az évek során százával szereztek be különböző gépjárműtípusokból, ami logisztikailag nem a legserencsésebb. A különböző küldetésekhez a jelenlegi típusok nem a legoptimálisabbak: így az igényfelmérést követően komoly fejlesztési munkálatok kezdődtek páncélozott (ballistically protected) és páncélozatlan (soft-skin) verziók létrehozására. A jó terepjáró képesség, a nagy sebesség és könnyű kezelhetőség megtartása mellett megnövelt hasznos tömeg, halkabb motor, megfelelő C4ISR¹ és éjjellátó képesség, légi szállíthatóság (egy Chinook vagy CH-53-as helikopter függesztve tudja szállítani) mellett előírták a gyártóknak, hogy a jármű rendelkezzen elektronikai zavaróberendezéssel (jammer) az IED-k ellen, modulárisan alakítható legyen a különféle feladatoknak megfelelően, valamint éjjel-nappal könnyen álcázható legyen. Az elvárt kívánalmaknak ellentmondó követelmény, hogy a harcjármű ne legyen feltűnő és a civil alaptípusokra hasonlítson. Ez az elvárás a rádióantennák, fegyverek és a kívülről is jól látható operátorok miatt épp olyan nehezen teljesíthető feltétel, mint a hosszú távú igénybevétel és minimális karbantartás mellett elvárt 10–15 éves élettartam. A PB-NSCV (Purpose-built Non-Standard Commercial Vehicle – *célirányosan épített nem szabványos közforgalmú jármű*) beszerzési program 2020–2023 között mintegy 500 db jelenlegi járművet váltana ki. [15] A várható nyertes a Navistar SOTV-B (Special Operations Tactical Vehicle-B – Különleges Műveleti Harcászati Jármű) lehet. [14]

TECHNIKAI KIALAKÍTÁS

Az éppen hozzáférhető vagy zsákmányolt típusok igénybevétele mellett is látható, hogy a járművek egy része jobban kedvelt. Ezek közé tartozik a Toyota Hilux, a Land Cruiser, a Ford Ranger, a Mitsubishi L200. Teherautóknál gyakori a GAZ-66, az Unimog és az amerikai M35-ös. A hordozójárműtől és a fegyverzettől függően megkülönböztethetjük a nehéz, és könnyű változatokat (light/heavy technicals).

Ezekre a járművekre leggyakrabban a szovjet PK és Gorjunov 7,62 mm-es közepes űrméretű fegyvereket, illetve a 12,7 mm-es DShK és M2 Browning nehéz géppuskákat szerelik fel, de számos egyéb harceszközt is felhasználhatnak. A csöves légvédelmi eszközök közül leginkább az 1/2/4 csövű 14,5 mm-es ZPU (8. ábra) és a 23 mm-es ZU-23-2, a 20 mm-es Zastava, 35 mm-es Oerlikon és az 57 mm-es S-60-as a legjellemzőbb, de megfigyeltek már 37 mm-es M-1939 szovjet és 20 mm-es M61 Vulcan gépágyút is. Páncélozott célpontok és erődített állások ellen legtöbbször a szovjet 73 mm-es SPG-9-es és 82 mm-es

8. ábra. A klasszikus megjelenés: Toyota gépjármű ZPU-2 légvédelmi gépágyúval [20]





9. ábra. A másik közismert kialakítás: Toyota, 106 mm-es hátrasiklás nélküli löveggel [21]

B-10-es, utóbbi kínai verziójaként a Type-65-ös és 105 mm-es Type-75-ös, illetve a 106 mm-es amerikai M40 HSN-lövegek (9. ábra), továbbá a Milan, AT-3 Sagger /9M14 Maljutka/ és TOW irányított páncéltörő rakéták láthatók felfegyverzett civil járműveken. Sorozatvető csőkötegeket, (12 csövű, 107 mm-es kínai Type-63 és iráni Fadzsir-1) vagy egyes rakéták (pl. 122 mm-es Grad vagy Sz-5-ös) kilövésére alkalmas indítósisíneket, számos esetben rögtönzött indítószínek is alkalmaznak. (10. ábra) Sőt, tüzeresség és légierő hiányában eredetileg repülőgépeken alkalmazott szovjet/országi UB-32-57 vagy UB-16-57 (11. ábra) vagy 68 mm-es francia Matra SNEB rakétablokkokat is erősítenek a járművekre, amelyeket távirányítással működtetnek, esetenként drónokkal megfigyelt tűzcsapásokra. A felsoroltakon kívül aknavetők, gránátvetők és harcjárművekből kisserelt, zsákmányolt toronyfegyverek is megfigyelhetők a pick-upokon, de extrémebb megoldások is előfordulnak. Az iráni hadsereg egy civilnek álcázott furgon hátuljából indított hajó elleni rakétát egyes felvételeken; Líbiában AML-90 Panhard 90 mm-es GIAP F1 löveget Humwee-ra szerelve fényképeztek le, és ugyanitt Iveco teherautóra applikált T-55-ös harcocsitornyot is lehetett látni. Szíriában előfordult, hogy egy gépjármű platójáról egy reaktivált 18. századi hajóágyúval tüzeltek. Előfordul, hogy több fegyvert is alkalmaznak egyazon járművön, de



10. ábra. Egy Mitsubishi L200-ról indított tűzcsapás nem irányított rakétákkal [22]

11. ábra. Egy módszer a mozgékony és tüzerő egyesítésére – a gépjárműveken a légierőtől zsákmányolt UB rakétablokkok [23]



inkább a bevethető járművek darabszámát növelik a rendelkezésre álló fegyverekkel.

A páncélozás – amennyiben egyáltalán ellátják vele a járművet – olykor ötletszerű, illetve a mozgékony megőrzése érdekében szükségszerűen minimális. Elsősorban a vezetőfülkét erősítik meg fémhulladékból (ún. hillbilly armour), és/vagy acéllemezekkel, a teher-/küzdőteret ritkábban páncélozzák, akkor is leginkább csak oldalirányban. Esetenként a fő fegyver kezelője védelmére lövegpaizst alakítanak ki.

Az alkalmazók az eredeti gyári színeket álcáfestéssel, vagy nemzeti színekkel és az adott fegyveres csoport jelzéseivel kombinálják, illetve harcias szlogeneket festenek a járművekre, de ríktó színű egyéni megoldások is előfordulnak.

A felfegyverzett gépkocsik technikai módosításáról (motor, erőátviteli rendszer, felfüggesztés) kevés feljegyzés olvasható, hiszen az alapjárművek megbízhatósága eleve a kiválasztás szempontja. A porszűrők és a kopó alkatrészek cseréjén túl, még a korábban említett járműtípusok kínai és iráni változatai sem adnak sok feladatot. (Néhány gyártó, a megbízhatóság „üzeneteként” a márka reklámjaként használja gyártmányainak harctéri szereplését. Mások – így a Toyota – igyekeznek gátolni, hogy rossz kezekbe kerüljenek a termékei, de az eszközei korlátozottak. Számos példányt azonban illegális úton juttatnak el a konfliktuszónákba.)

A különböző specifikus változatok kapcsán, a felsorolásból nem hagyhatók ki a mexikói drokartellek és az Iszlám Állam saját fejlesztésű járművei.

A drokartellek nagyfokú szervezethez és anyagi háttérrel rendelkeznek, de közülük is kiemelkedik a mexikói és guatemalai különleges erők egykori tagjaiból, és korrupcióról létrejött, brutalitásáról ismert *Los Zetas* csoport. A közbiztonság romlása nyomán már az 1990-es években a jómódú közszereplők és üzletemberek ballisztikus üveggel és golyóálló abrónccsal ellátott terepjárókkal és testőrcsapatokkal közlekedtek. Ilyeneket az egymással és a hatóságokkal folyamatos harcban álló bűnszervezetek (mint pl. a Jalisco-i új generáció kartelle /CJNG/, az Észak-keleti kartell vagy az Óböl-kartell) is beszerettek, és a járművek belsejét is páncélozták, illetve az utasterüket homokzsákokkal erősítették meg. Az ilyen védelmi intézkedésekkel szemben születtek meg 2010 körül az első „támadó” szerepre szánt ún. „narkó tankok” (narco tanques vagy közkeletű elnevezéssel „szörnyek” – monstruos).

Titkos műhelyekben a gépkocsik felépítményére 5–25 mm vastagságú, lövésekkel ellátott, hegesztett rátétpáncélzatot helyeztek. Olykor M2-es géppuskával ellátott forgótornyokkal és műszaki akadályok, illetve más járművek elleni dőfórral, tololappal, vagy ütköző ráccsal is felszerelték a járműveket. A nagyobb rajtaütésekre tervezett változatokba 19–20 személy is elfér, de alapvetően a kisebbeket preferálják. Lefoglaltak olyan példányt is, amely kódfejlesztő eszközzel és műholdas kommunikációval rendelkezett, igaz, a minden irányban páncélozott busz csak max. 50 km/h sebességre volt képes. Általában 10-20 db jármű halad konvojban, egyenként 4-5 fegyverrel. [16] Válaszként a szövetségi rendőrség bevetési egységei is megnövelték saját védettséget és tűzerőjüket, de bevonták a kartellek elleni kíméletlen harcba a hadsereg és a haditengerészet különleges alakulatát is.

Az Iszlám Állam harctéri sikereinek Szíriában és Irakban elsősorban a két ország haderejének szétesése és többfrontos lekötöttsége volt az elsődleges oka. Harceljárásuk fő eszközét a felfegyverzett terepjárók jelentették. Könnyű fegyverzetű, mozgékony alegységekbe szervezték erőik egy részét, ahol 10-10 harcos szerveződött egy-egy ilyen eszköz köré. Ezekből a feladathoz szükséges nagyságban szervez-





12. ábra. A Jalisco kartell 2020 nyarán tett közzé videót: mintegy 100 fegyverese pózolt egységes taktikai felszerelésben, felfegyverzett terepjárókkal és maguk által páncélozott járművekkel [14]

tek ideiglenesen harccsoportokat, mindig a gyenge pontokat keresve akár a kormányerők, akár más felkelőcsoportok ellen.

Újtásnak tekinthető a SVBIED (*Suicide Vehicle-born Improvised Explosive Device* – öngyilkos, gépjárművel célba juttatott rögtönzött robbanószerkezet) gépjárműves merényletek újragondolása. Változatos formákban hoztak létre eleve megsemmisítésre ítélt támadó járműveket. Ezeket nem pusztán robbantásos merényletek elkövetésére, hanem többnyire katonai műveletek során taktikai alkalmazásként – a hiányzó nehéztüzérség és a sebezhető páncélos erők képességeinek egyfajta pótlékeként – vetik be. Így pl. földmunkagépeket páncéloztak körbe, illetve szereltek fel RPG-rácsokkal, amelyek áthatoltak a műszaki akadályokon, felrobbantották / áttörték a fizikai védelmet, és a bázisokon belüli célok ellen utat nyitottak a mögöttük haladó öngyilkos merénylet(ek) számára. Más esetekben a jelentősen átalakított busz vagy teherautó golyóálló üveggel vagy acéllemezzel védett vezetőfülkéje mögött egy páncélozott tornyot vagy felül nyitott küzdőteret alakítottak ki több fegyveres számára, akik lefogyó tűzzel biztosították, hogy a robbanóanyaggal megrakodott járművük a lehető legközelebb juthasson a célponthoz. Ezek az eszközök futurisztikus megjelenésük miatt – a kultuszfilmre utalva – kapták a „Mad Max” elnevezést. (Többek között zsákmányolt T-55-ös harckocsit, BVP-1 lövészpáncélos³, MT-LB és BTR-152-es harcjárművet is módosítottak öngyilkos küldetésekre.) A gépjárműves merénylet a városok védelménél a belső utcákban, házakba rejtve várakoztak, majd a fent köröző drónok nyújtotta helyzetképet elemezve, a parancsnokok a fenyegetett irányokba tudták csoportosítani őket, és ott csapást mértek a támadó erőkre.

Ezekhez az egyszer használatos mozgó bombákhoz – amelyek gyakorlatilag pótolni hivatottak a hiányzó nehéztüzérséget – egyedi lehetőséget biztosított, hogy előállításukhoz saját hátszágukban rendelkeztek idővel, szakértelemmel, műhelyekkel, anyagi erőforrásokkal. A területvesztéssel és a fokozódó katonai nyomással ezeknek az eszközöknek a hatékonysága sokat romlott, aggasztó módon azonban már felbukkantak Nigériában és Szomáliában is.

A helyszínek és módszerek bemutatása nyomán látható, hogy egyes harccsoportok milyen sokoldalúan és változó szerepekben, az igényekhez és lehetőségekhez alkalmazkodva használják az eredetileg civil célra készült, átalakított és felfegyverzett gépjárműveket. Új fejlesztéseik a bűnüldöző szervek és a rivális csoportok ellen – akár öngyilkos küldetésben – irányulnak. A gerillák és irreguláris hadviselést is folytató félkatonai és különleges műveleti erők körében a felfegyverzett gépjárművek a Kalasnyikov megfelelőjének tekinthetők, hiszen könnyen kezelhetők és megbízhatóak, ugyanakkor ütőképes eszközök. [17] Mivel a harctereknek még kétségtelenül sokáig szereplői lesznek, ugyanúgy érdemes lesz megbarátkozni a *technicals*, *non-tec* vagy *vimit*

kifejezésekkel a magyar nyelvhasználatban, ahogy ez a *Humvee* és az MRAP kifejezésekkel történt.

HIVATKOZOTT IRODALOM

- [11] „It’s the vehicular equivalent of the AK-47.” vagyis az ilyen jármű az AK-47 gépjárműves megfelelője a gerillák szemében – nyilatkozta egy volt Ranger. in: Ravy Somaiya: *Why rebel groups love the Toyota Hilux* www.newsweek.com/why-rebel-groups-love-toyota-hilux-7419 Letöltés: 2020.12.08.;
- [12] Latorraca, Matteo. 2014. *Technicals: the vehicles that changed the asymmetric conflicts* www.geopolica.info/technicals Letöltés: 2020.11.28.;
- [13] https://russiandefpolicypolicy.blog/tag/uaz-3163 Letöltés: 2020.12.05.;
- [14] Finkel, Max. 2019. *The Pickup Truck for the Next Toyota War Isn’t a Toyota At All* www.jalopnic.com/the-pickup-truck-for-the-next-toyota-war-isnt-a-toyota-1836715824/am Letöltés: 2020.11.30.;
- [15] Trevithick, Joseph. 2018. *US Special Operators Want a Super Vehicle They Can Disguise As Different Civilian Trucks* https://www.thedrive.com/the-war-zone/19062/us-special-operators-want-a-supertechnical-that-transforms-into-different-civilian-truck Letöltés: 2020.11.30.;
- [16] https://tanks-encyclopedia.com/modern/Mexico/Narco_Tanks/amp Letöltés: 2020.12.08.;
- [17] Azevedo, Mario Joaquim. 2005. *Roots of Violence: A History of War in Chad*, London, Routledge;
- [18] https://theglobalobservatory.org/2019/12/situation-libya-can-may-get-much-worse/ Letöltés: 2020.12.10.;
- [19] https://www.voanews.com/middle-east/warring-libya-rivals-sign-truce-tough-political-talks-ahead Letöltés: 2020.12.10.;
- [20] hu.pinterest.com/pin/112027109463812943/?lp=true 2020.11.30.;
- [21] reddit.com/r/Warthunder/comments/dqczly/toyota_nonstandard_technical_antitank_vehicle Letöltés: 2020.11.30.;
- [22] https://www.google.com/amp/s/pikabu.ru/story/kolesa_igil_na_chem_peredvigayutsya_siriyskie_terroristy_4297584%3fview=amp Letöltés: 2020.12.04.;
- [23] www.tacomahq.com/3402/syrian-rebels-toyota-hilux-pickups Letöltés: 2020.12.04.;
- [24] El video que muestra el poder militar del capo mexicano ‘el Mencho’ (Youtube video) Letöltés: 2020.12.08.

JEGYZETEK

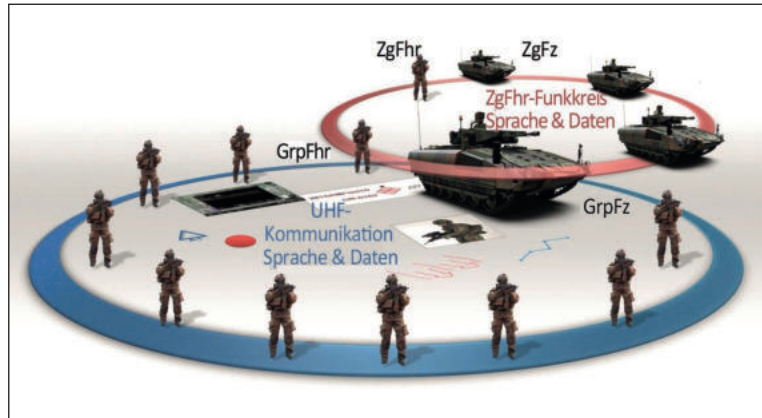
- 1 Command, Control, Communication, Computing, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance – vezetési, irányítási, kommunikációs, számítógépes, hírszerzési, megfigyelési és felderítési keretrendszer.
- 2 2013-ban egy texasi vízvezeték-szerelő eladta Ford F250-esét egy autókereskedőnek. A gépkocsi egy árverést követően Törökországon keresztül Szíriába került, és egy Aleppónál készült felvételen tűnt fel, amelyen a ZPU géppuskával felszerelt Forddal egy csecsen csoport pózolt. NEVILLE, Leigh – DENNIS, Peter: *Technicals – Non-Standard Technical Vehicles from the Great Toyota War to modern Special Forces* p. 54.
- 3 Csehszlovák gyártmányú, a szír hadseregben rendszeresített BMP-1.

Vincze Gyula*

A NATO VJTF-be felajánlott Bundeswehr erők újgenerációs szoftverrádiói

A BAAINBw¹ 2019-ben a Puma lánctalpas gyalogsági harcjárművek harcértéknövelését célzó, 500 000 euró értékű szerződést kötött a Rheinmetall védelmi ipari óriáscéggel. A szerződés a NATO VJTF² keretnemzeti kötelezettséghez, konkrétan a német System Panzergrenadier VJTF 2023 modernizációs program végrehajtásához [1] köthető. A NATO NRF³ állományában 2016-ban 5000 fős létszámmal létrehozott VJTF, egy légi- és tengeri támogató-, valamint különleges műveleti és kibevédelmi egységekkel kiegészített, többnemzeti szárazföldidandár-méretű harccsoport. Vezetése keretnemzeti koncepcióban⁴, az Egyesült Királyság, Franciaország, Németország, Lengyelország, Olaszország, Spanyolország és Törökország éves rotációjával valósul meg. 2023-ban 12 hónapra ismét Németország tölti majd be a keretnemzet szerepét, vagyis a VJTF ismét német irányítás alá kerül.

A System Panzergrenadier VJTF 2023 projekt magába foglalja 41 db Puma gyalogsági harcjármű képességnövelését, beleértve a Eurospike, a Rheinmetall, a Diehl Defence és a Rafael által fejlesztett, 152 mm-es MELLIS irányított páncéltörő rakétarendszerrel történő felszerelést, új digitális rádiók beépítését, a TacNet (Tactical Network) harcászati rendszer integrálását, valamint új nappali és hőkamerák, továbbá színes kijelzők beszerzését. A program a Puma gyalogsági harcjárművek és az IdZ-ES⁵ projekt alapján felszerelt lövészkatona számára egy hálózatközpontú harci környezetet hoz létre. A program része a katona fegyverén, egyéni védőfelszerelésén túl egy teljesen digitalizált eszközökkel ellátott híradó-informatikai rendszer is, amelyet beszéd-, videó- és más kommunikációs berendezések – mint például rádiókészülék, számítógép, sisakra telepített kijelző és navigációs berendezés – alkotnak. A VJTF 2023 program eredményeként a Puma gyalogsági harcjárművek harci képessége is



1. ábra. Lövészraj és lövészzakasz rádiókommunikációs képességei a Panzergrenadier-rendszerben [11]

(Az 1. ábra német rövidítéseinek feloldása: ZgFhr – szakaszparancsnok, ZgFz – szakaszparancsnoki jármű, ZgFhr-Funkkreis Sprache & Daten – szakaszparancsnoki VHF rádióháló titkosított beszéd- és adatkapcsolattal, GrpFhr – rajparancsnok, GrpFz – rajjármű; UHF-Kommunikation Sprache & Daten – rajparancsnoki UHF rádióháló titkosított beszéd- és adatkapcsolattal.)

jelentősen javul, a járművek és a járműveket elhagyó lövészek hálózatba kapcsolása növeli azok harci hatékonyságát.

A Puma harcjárművekből kiszálló lövészek raj-, szakasz-, és századszintű, IP-alapú beszéd- és adatkommunikációs igényeinek kielégítésére (1. ábra) a Bundeswehr a Rohde & Schwarz elektronikai divíziójának SOVERON nevű kétsávos, VHF/UHF szoftverrádió-technológiáját választotta. A szoftverrádió (SDR – Software-Defined Radio) alapkonceptiója, hogy a nagyfrekvenciás részek kivételével valamennyi funkciót (hullámforma képzés, moduláció, titkosítás, vezérlés) szoftveresen, egy kellően erős hardveren futó, tárolt programmal valósítják meg. Ez így rendkívül rugalmassá teszi a rendszert, a hardveren futtatott különféle szoftverek segítségével számos olyan alkalmazás is kialakítható, amelyre korábban dedikált céleszközök szolgál-

ÖSSZEFOGLALÁS: A cikk a NATO VJTF-be (a sajtó által „lándzsahegy-dandárnak” nevezett harccsoportba) felajánlott német Puma lánctalpas gyalogsági harcjárművek és a járműveket elhagyó – IdZ-ES (Infanterist der Zukunft Enhanced System) a jövő lövészkatona felszerelésomaggal ellátott – katonák számára biztosított újgenerációs, titkosított beszéd- és adatátvitelre alkalmas digitális rádiókat kívánja bemutatni.

KULCSSZAVAK: System Panzergrenadier VJTF 2023 modernizációs program, Puma gyalogsági harcjármű, IdZ-ES, SVFuA, SOVERON VR járműrádió; SOVERON HR kézi rádió; SOVERON WAVE hullámforma.

ABSTRACT: German Puma tracked fighting vehicles and the unmounted soldiers – supported by future soldiers equipment – get new-generation encrypted digital voice and data radios. These forces are offered to the NATO VJTF (commonly called „Spearhead Brigade”). The goal of this article is the introduction of these devices.

KEY WORDS: System Panzergrenadier VJTF 2023 modernization program, Puma infantry fighting vehicle, IdZ-ES, SVFuA, SOVERON VR vehicle radio; SOVERON HR handheld radio; SOVERON WAVE waveform.

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



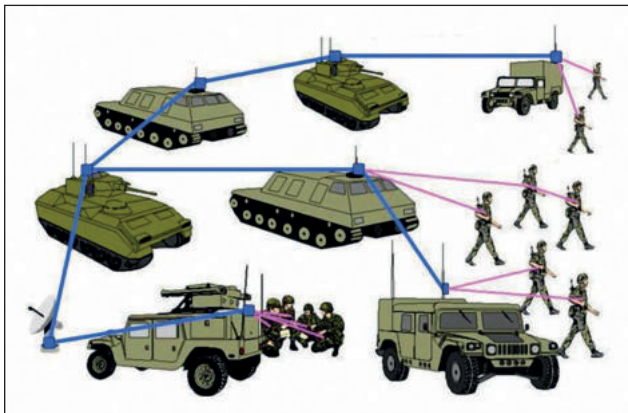
2. ábra. Az SVFuA rádiókommunikációs rendszer alapegysége [10]

tak. Mivel a tábori infokommunikációs rendszer valamennyi csomóponti eleme azonos hardverrel működik, nagyban csökkennek az üzemeltetési nehézségek és költségek.

A Rhode & Schwarz SOVERON rádiókommunikációs rendszereket többcsatornás szoftverrádiók, és a hozzájuk tartozó nagy adatátviteli sebességű és zavarvédett hullámformák alkotják, amelyek képesek a nemzeti minősített adatokra vonatkozó követelményeken túl a NATO-titkos minősítési szintű információvédelem követelményeinek is megfelelni. A SOVERON VR (vehicle radio) járműbe épített rádió és a SOVERON HR (handheld radio) kézi rádió fejlesztése kifejezetten harcászati kommunikációs céllal történt. A készülékek interoperábilisak a Rhode & Schwarz-tól a Bundeswehr által 2017-ben megrendelt, szoftverrádiótechnológián alapuló SVFuA (Streitkräftegemeinsame, verbundfähige Funkgeräte-Ausstattung) rendszerrel, amely a német fegyveres erők közös, hálózatalapú rádiórendszere. (2. ábra) A projekt részeként fejlesztik azokat a következő generációs mobil rádióberendezéseket, amelyek adaptív, keskeny- és szélessávú hullámformákkal csomópontként, vagy végberendezéseként alkalmazhatók. Az új rádiók az interoperabilitás jegyében, ha szükséges, képesek együttműködni a német hadseregben még meglévő SEM rádiócsalád (SEM 80, SEM 90 stb.) analóg rádióival is.

A SOVERON szoftverrádiók hálózatalapú, nagy adatátviteli sebességű, zavarálló SOVERON WAVE hullámformákkal működnek. A hullámformacsalád minden tagja képes MANET (Mobile Ad hoc Network) eseti hálózat létesítésére. Az automatikusan felépülő lokális ad hoc adathálózatok

3. ábra. MANET mobil ad hoc hálózatmodell [14]



4. ábra. SOVERON VR harcászati járműrádió [12]

rádiós csomópontokból, és azokat összekötő rádiós átviteli utakból állnak. Az ilyen funkcióra képes rádiók csomópontként működnek, rajtuk keresztül történik az adatátvitel és a beszéd átvitele is, természetesen IP-alapon (3. ábra). A dinamikusan változó mindenkori hálózati topológia szerint egy adott csomópont egy másik, vagy több másik csomóponthoz is kapcsolódhat, és azzal kommunikálhat. A MANET-hálózatok nagy előnye a hálózatkiterjesztés, vagyis a rádióhálózat-hatósugár megtöbbszörözés képessége. További előny, hogy nincs szükség fix infrastruktúrára a csomópontok közötti átvitel megvalósításához. [14]

SOVERON VR HARCÁSZATI JÁRMŰRÁDIÓ

A SOVERON VR járműrádió a SOVERON szoftverrádiócsalád tagja (4. ábra). Egyidejű beszéd- és IP adatátviteli összeköttetés létesítésére alkalmas VHF/UHF kétsávú harcászati adó-vevő. Frekvenciatartománya 30–512 MHz. Adóteljesítménye (külső erősítő nélkül) 50 W. Beépített GPS-vevővel ellátott. Hardver része megfelel az USA MIL-STD (Military Standard) szabványsorozat követelményeinek, (1. táblázat) így alkalmas extrém körülmények között történő üzemeltetésre. Teljeskörű információvédelemmel, beszéd- és adattitkosítási képességgel rendelkezik. A rádió szélessávú, frekvenciaugratásos, szórt spektrumú adás-módjának a felderítése is problémás, ezért a lehallgatása és zavarása különösen nehéz.

A SOVERON VR járműrádió a Rhode & Schwarz hullámformacsaláddal teljesen IP-képes, így könnyen integrálható a meglévő IPv4 hálózatokba. Valójában egy SCA 2.2.2. (Software Communications Architecture 2.2.2.) alapú, bővíthető szoftverkommunikációs rádióplatform, amely támogatja a szabványos, és a speciális Rohde & Schwarz hullámformákat, továbbá megkönnyíti a hullámformák portolását. A SOVERON WAVE hullámforma-csomag MANET ad hoc hálózatépítő, és TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) forgalom-optimalizáló funkcióval, valamint COMSEC (COMMunication SECurity) nemzeti minősített adatokra vonatkozó és NATO-titkos minősítési szintű információvédelmi, továbbá TRANSEC (TRANsport SECurity) átvitelbiztonsági képességgel rendelkezik.

SOVERON HR HARCÁSZATI KÉZI RÁDIÓ

A SOVERON HR kézi rádió a SOVERON VR járműrádióhoz hasonlóan egyidejű beszéd- és adatátviteli összeköttetés létesítésére alkalmas, kétsávú VHF/UHF szoftverrádió, beépített GPS-szel (5. ábra). Egyedi módon, a harcjárművekből kiszállva tevékenykedő lövészek számára fejlesztették. Frekvenciatartománya ennek az eszköznek is 30–512 MHz, de az adóteljesítménye változtathatóan 5,2 vagy 0,2 W. Ez a készülék is

1. táblázat. SOVERON VR járműrádió főbb műszaki paramétereai (a [15] alapján a szerző szerkesztése)

Frekvenciatartomány, vevőérzékenység, kimenő teljesítmény	
Frekvenciatartomány	30 – 512 MHz
Vevőérzékenység	F3E érzékenység < -112 dBm A3E érzékenység < -112 dBm
Kimenő teljesítmény	50 W
Hőmérséklettartomány	
Üzemi hőmérséklet	-25 C° és +55 C° között
Megengedett hőmérséklet	-40 C° és +71 C° között
Tárolási hőmérséklet	-46 C° és +90 C° között
Környezetállósági és EMC specifikációk	
A MIL-STD-810H és a MIL-STD-465G szabványnak megfelelők	
Tápfeszültség	
Névleges üzemi feszültség	26,5 V
Üzemi feszültségtartomány	18–33 V
Hullámformák	
1) STANAG-ekkel szabványos hullámformák; 2) SOVERON WAVE hullámforma; 3) Rohde & Schwarz® SECOS hullámforma	
SOVERON WAVE hullámforma-jellemzők	
Adatátviteli sebességek a sávzélesség függvényében	SOVERON WAVE AJ-NB 110 kbps (25 kHz-en); SOVERON WAVE AJ-WB 630 kbps (250 kHz-en); SOVERON WAVE WB 2100 kbps (500 kHz-en)
Egyéb hullámforma specifikációk	
MANet ad hoc hálózatépítő- és TCP/IP forgalom optimalizáló funkció; COMSEC kommunikációbiztonsági és TRANSEC átvitelbiztonsági képesség	

megfelel a vonatkozó MIL-STD kritériumoknak (2. táblázat). SOVERON HR kézi rádió a SOVERON WAVE TNW (The Next Wave) frekvenciaugratásos hullámforma által kapcsolódhat a SOVERON VR járműrádiókhoz. Ez a hullámforma rugalmasan integrálható IP-alapú rádiórendszerekbe. A SOVERON WAVE TNW hullámforma MANET ad hoc hálózatépítő funkcióval, COMSEC nemzeti minősített adatokra vonatkozó és NATO-titkos minősítési szintű információvédelmi, valamint TRANSEC átvitelbiztonsági képességgel rendelkezik.

A harcjárművekből kiszálló lövészek számára kis méretű és tömegű, alacsony energiafogyasztású, magas fokú energiahatékonysággal, és nagy kapacitású akkumulátorral működő eszköz szükséges. A SOVERON HR kézi rádió megfelel ezeknek a követelményeknek. Nagyban növeli a lövészek autonómiáját azáltal, hogy több mint 12 órás akkumulátor-üzemidő mellett, akár 7 km hatótávolságú rádiókommunikációt is lehetővé tesz.

2. táblázat. A SOVERON HR kézi rádió főbb műszaki paramétereai (A [15] alapján a szerző szerkesztése)

Frekvenciatartomány, kimenő teljesítmény, hatótávolság	
Frekvenciatartomány	30 – 512 MHz
Hatótávolság	Legfeljebb 7 km közvetlen lefedettség, amely MANET mobil ad-hoc hálózat funkcióval növelhető
Kimenő teljesítmény	5 / 2 / 0,2 W
Méret-, tömeg- és energiaadatok	
Méret	80 mm × 219 mm × 42 mm
Tömeg (akkumulátorral együtt)	~ 1,2 kg
Akkumulátor üzemidő	> 12 h
Hullámformák	
Fix frekvencás és SOVERON WAVE TNW	
SOVERON WAVE TNW hullámforma-jellemzők	
AES (Advanced Encryption Standard) kódolás szerinti COMSEC kommunikáció-biztonság; beszéd- és IP-alapú adatátvitel; TRANSEC átvitelbiztonság; MANET ad hoc hálózatépítés; Interoperabilitás	
Hőmérséklet-tartomány	
Tárolási hőmérséklet	- 40 C° és + 71 C° tartományban
Üzemi hőmérséklet	- 30 C° és + 60 C° tartományban
Környezetállósági specifikációk a MIL-STD-810H szabvány szerint, elektromágneses specifikációk a MIL-STD-465G szabványnak megfelelnek	

5. ábra. SOVERON HR kézi rádió [16]



ÖSSZEGRÉS

A Rohde & Schwarz szoftverrádiókat kifejezetten harcászati kommunikációs célra tervezték. A „SOVERON rendszermegoldás” nagy adatátviteli sebességű és interferencia mentes SOVERON WAVE hullámformákkal működik. A gyártó szerint a SOVERON hullámformacsald minden eszköze MANET funkciókkal bír. Az ilyen képességű rádióeszközök dinamikus változó topológia mellett is transzparens felületet szolgáltatnak az IP eszközök részére, és még extrém körülmények között is megbízható kommunikációt biztosítanak. A jelenleg még rendszerben álló analóg harcászati rádiók SOVERON digitális készülékekre történő cseréje a jelenlegi tervek szerint még 2022-ben magvalósul.

HIVATKOZOTT IRODALOM

[1] Janes.com. „German Lead Contribution to VJTF 2023 to Be Modernised”. Elérés 2021. március 17. <https://www.janes.com/defence-news/news-detail/german-lead-contribution-to-vjtf-2023-to-be-modernised>;

[2] KG, Rohde & Schwarz GmbH & Co. „Softwarebasierte Funkgeräte – Sichere Kommunikation”. Elérés 2021. március 3. https://www.rohde-schwarz.com/at/produkte/aerospace-defense-security/softwarebasierte-funkgeraete/pg-softwarebasierte-funkgeraete_64225.html;

[3] Bundeswehr Journal. „Software Defined Radios „Soveron“ von Rohde & Schwarz -...”, 2019. július 23. <https://www.bundeswehr-journal.de/2019/software-defined-radios-soveron-von-rohde-schwarz/>;

[4] Ruzhelnik, Olga. „Rheinmetall – Leading Supplier of Soldier Systems and Expert Partner for Network-Enabled Operations”. *EDR Magazine* (blog), 2019. szeptember 10. <https://www.edrmagazine.eu/%e2%96%ba-rheinmetall-leading-supplier-of-soldier-systems-and-expert-partner-for-network-enabled-operations>;

[5] Hardthöhenkurier Online. „Eurosatory 2018: Rohde & Schwarz präsentiert sich als Lösungsanbieter für Sichere Kommunikation im taktischen Einsatz”. Elérés 2021. március 3. <https://www.hardthoehenkurier.de/index.php/news/9-news/1734-eurosatory-2018-rohde-schwarz-praesentiert-sich-als-loesungsanbieter-fuer-sichere-kommunikation-im-taktischen-einsatz>;

[6] ES&T. „Neue VHF/UHF-Funkgeräte für die VJTF (L) 2023”. *ESUT - Europäische Sicherheit & Technik*, 2019. július 22. <https://esut.de/2019/07/meldungen/ruestung2/14052/neue-vhf-uhf-funkgeraete-fuer-die-vjtf-l-2023/>;

[7] Hardthöhenkurier Online. „Deutsches Heer setzt auf Rohde & Schwarz”. Elérés 2021. március 3. <https://www.hardthoehenkurier.de/index.php/news/9-news/2055-deutsches-heer-setzt-auf-rohde-schwarz>;

[8] „Digitalisierung der VJTF2023: Neue Software, alte Hardware – Augen geradeaus!” Elérés 2021. március 3. <https://augengeradeaus.net/2018/12/digitalisierung-der-vjtf2023-neue-software-alte-hardware/>;

[9] Ruzhelnik, Olga. „System Panzergrenadier”: Rheinmetall Modernizing Puma Infantry Fighting Vehicle and Other Equipment for NATO Spearhead VJTF 2023”. *EDR Magazine*, 2019. július 22. [https://www.edrmagazine.eu/system-panzergrenadier-rheinmetall-modernizing-puma-infantry-fighting-](https://www.edrmagazine.eu/system-panzergrenadier-rheinmetall-modernizing-puma-infantry-fighting-vehicle-and-other-equipment-for-nato-spearhead-vjtf-2023)

vehicle-and-other-equipment-for-nato-spearhead-vjtf-2023;

[10] Armada International. „German Army Relies on Rohde & Schwarz”. *Armada International* (blog), 2019. augusztus 9. <https://armadainternational.com/2019/08/german-army-relies-on-rohde-schwarz/>;

[11] Kim Feilcke. „Implementation of the capability requirements of the Puma infantry fighting vehicle in the Panzergrenadier system” *ESUT - Europäische Sicherheit & Technik*, 2020. aug. 10. <https://esut.de/en/2020/08/fachbeitraege/20769/umsetzung-der-faehigkeitsforderungen-des-schuetzenpanzers-puma-in-das-system-panzergrenadier>;

[12] Rohde & Schwarz International. „SOVERON® VR Vehicular Tactical Radio - Overview”. Elérés 2021. március 3. https://www.rohde-schwarz.com/pl/product/sdtr-productstartpage_63493-30529.html;

[13] Rohde & Schwarz. „SOVERON® VR Vehicular Tactical Radio: For vehicular and semi mobile platforms” Brochure and datasheet. Elérés 2021. március 3. https://cdn.rohde-schwarz.com.cn/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/SOVERON-VR_fly_en_5215-0040-32_v0301.pdf;

[14] „A typical scenario of Communication in Mobile Adhoc Network” In: Joshi, Sachidananda S., és Sangappa Ramachandra Biradar. „Communication Framework for Jointly Addressing Issues of Routing Overhead and Energy Drainage in MANET”. *Procedia Computer Science* 89 (2016): 57–63. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.06.009>. https://www.researchgate.net/figure/A-typical-scenario-of-Communication-in-Mobile-Adhoc-Network_fig1_306362664;

[15] Rohde & Schwarz. „SOVERON® HR Handheld Tactical Radio: For the dismounted soldier” Brochure and datasheet. Elérés 2021. március 3. https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/SOVERON-HR_fly_en_5215-8170-32_v0300.pdf;

[16] Rohde & Schwarz GmbH & Co. „SOVERON HR Starts on Road to Success”. Elérés 2021. március 3. https://www.rohde-schwarz.com/hu/about/news-press/all-news/soveron-hr-starts-on-road-to-success-press-release-detailpage_229356-934784.html.

JEGYZETEK

- 1 BAAINBw (Bundesamt für Ausrüstung, Informationstechnik und Nutzung der Bundeswehr) – a Bundeswehr Technológiai és Beszerzési Hivatala.
- 2 NATO VJTF (Very High Readiness Joint Task Force) – Nagyon Magas Készenlétű Összhaderónemi Műveleti Erő.
- 3 NATO NRF (NATO Response Force) – NATO Reagáló Erők
- 4 A 2013-ban kialakított és 2014-ben elfogadott német javaslat szerint egyes nagy tagállamok alapvető stratégiai képességeket biztosítanak és fejlesztenek, míg a kisebb tagállamok a hiányzó részképességeket, területeket fedik le, és a szövetségeselek fegyveres erőiket közösen, közös műveleti parancsnokság alatt alkalmazhatják (a szerk.). Bővebben: <https://biztonsagpolitika.hu/nato-netto/a-nato-walesi-csucsstalalkozojanak-napirendje>
- 5 IdZ-ES (Infanterist der Zukunft, Erweitertes System) a jövő lövészkatonája kibővített projekt.



6. ábra. A Spanyol Légierő számára először átadott NH90 típusú kutató-mentő helikopter, járőrözési feladat közben [7]

Czikora Zoltán*

A Donauwörth-i Airbus gyár **II. rész**

A Magyar Honvédség által a Zrínyi Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program keretében megrendelt új helikoptereket a Donauwörth-ben működő Airbus Helicopters Deutschland GmbH (AHD) gyárban állítják elő. A cikk első része a gyár több évtizedre visszatekintő múltját mutatta be, amelynek folytatásaként a szerző a hidegháborús évtizedekbe kalauzolja el az olvasót, végül tanulmányát a gyártmányprofil legfontosabb elemeinek bemutatásával zárja.

Németország 1955. május 15-én kapta vissza hivatalosan nemzeti, és ezzel együtt a légi szuverenitását is. Ettől a naptól, a szövetséges katonai adminisztráció jóváhagyása nélkül is ismét engedélyezték repülőgépek használatát. A Donauwörth-i üzem 1956-tól kapcsolódott be a legkülönbözőbb repülőgép és helikopter programokba, licenctermék és saját tervezésű gépek, civil és katonai felhasználású repülőalkatrészeinek gyártásában egyaránt közreműködött.

A franciákkal aláírt egyezmény hatályba lépését követően az SNCAN (Société nationale de constructions aéronautiques du Nord) megadta a német „Flugzeugbau Nord GmbH” konzorciumnak az engedélyt a Nord 2501 Noratlas építéséhez. (7. ábra) Az NSZK légierője (Luftwaffe) össze-

sen 186 darabot rendelt meg a kétmotoros szállító repülőgépből. Donauwörth-ben készült a szárny motortól távolabb eső része és az egybeépített függőleges és vízszintes

7. ábra. A francia tervezésű Nord 2501 Noratlas licence alapján elkezdődött a repülőgépgyártás a Luftwaffe számára [2]



* Hadnagy, MH Tartalékképző és Támogató Parancsnokság Logisztikai Igazgatóság Minőségbiztosítási Főnökség, ORCID: 0000-0002-1474-0654





8. ábra. Nord Noratlas teherszállító repülőgépek összeszerelésre előkészített függőleges vezérsíkjai [2]

vezérsík is (8. ábra). A következő licencprogram az amerikai Lockheed F104G Starfighter repülőgépek építése volt. Az építésben résztvevő társaságok egyike sem merete vállalni a bonyolultabb részek gyártását, mivel félték az új, korábban kevésbé ismert anyagoktól és azok gyártási technológiájától. A WMD/SIAT (Waggon- und Maschinenbau GmbH Donauwörth/Siebel Flugzeugwerke ATG) elvállalta azokat az alkotóelemeket, amelyeket titánból, rozsdamentes (krómnikkel) acélból és profilozott lemezekből kellett készíteni (levegő-beömlőnyílás, levegőcsatorna, hidraulikatér-fedél, a törzs hátsó része, fékernyőfedél, orrkúp, kabintető és a kabin mögötti elektronikai tér burkolata). Egy másik francia licencprogram során a Breguet 1150 Atlantic, a tengeralattjáró-vadász repülőgépek építése valósult meg. E program keretében drága beruházásokat kellett végrehajtani az új szendvicsszerkezetek ragasztási eljárásaihoz, amely során a megmunkált alumínium méhsejtekkel és profilokkal ellátott vékony alumíniumlemezeket a külső héjhoz ragasztották, majd a ragasztott elemeket autoklávban kikeményítették. A WMD/SIAT a következő komponenseket állította elő: a komplett farokrészt a szendvicsszerkezetű vízszintes és függőleges vezérsíkkal, a bombatér ajtaját és a törzs hátsó részén kinyúló mágneses anomália-detektort (MAD) tartalmazó házat. 1970-ben a Boeing 737-eshez gyártottak pilóta- és navigátorüléseket, valamint az új Boeing 737 Cityjet változathoz a szárnyak bordáit. A háromhajtóműves Boeing 727 típusú utasszállító számára a pilótafülkében található fékszárnyvezérlő egységet gyártottak. A licencgyártmányok közül utolsóként az F-4F Phantom II változataihoz itt készítették egyebek mellett a szárny külső részét, a csűrőlapot, a futóaknaajtókat és az oldalkormányt.

Amikor a SIAT-nál elkezdték a Noratlas elemek építését, a háború előtti Siebel Si202 Hummel alapjain felmerült egy saját repülőgép gyártása is. Hosszú piaci elemzések után

arra a következtetésre jutottak, hogy az új négy személyes gép tisztán fémből készüljön, behúzható futóművel. A projekt SIAT 222 Hummel néven zajlott. A gépet 1961 májusában fejezték be, majd átszállították Manchingbe vizsgálati és jóváhagyási repülésekre. Sajnos azonban a repülőgép lezuhant és megsemmisült, pilótája meghalt. A saját forrásból finanszírozott projektet ezután törölték. Hat évvel később, 1967. február 21-én, meghívott vendégek előtt került sor a SIAT 223 „Flamingo” kibocsátó ünnepségére. Ez a repülőgép külföldön is sikeres lett, a különböző repülőiskolák mellett a szír és a török légierő is alkalmazta alapfokú kiképzőgépként.

A Noratlas leváltására készült el a francia–német Transall C-160 típus, amelynek sorozatgyártása mindkét résztvevő országban 1967-ben kezdődött. 1968-ban már le is szállították az első példányt a Német Légierőnek. 1971. június végéig Donauwörth-ben gyártották mind a 120 példányhoz többek között a bal és jobb oldali szárnyakat, a függőleges vezérsík borítását, a légkondicionáló rendszer csöveit, és különböző szendvicspaneleket.

A HFB-vel (Hamburger Flugzeugbau) folytatott szoros együttműködés eredményeként 1965-ben együttműködési megállapodást kötött a Donauwörth-i SIAT és a hamburgi repülőgépgyár az új, 12 üléses HFB 320 „Hansa Jet” sugárhajtású repülőgép építésében történő részvétel szabályozásáról. Az eredeti célt nem sikerült elérni, nem lett belőle sikeres üzleti gép, de a Német Légierő elektronikai ellentévékenység (Electronic Counter Measures – ECM) kiképzési feladatokra és VIP-szállításra vásárolt belőle. Donauwörth-ben készült a gép teljes szárnya, a szárny végén lévő póttartályokkal együtt. Az integrált tartályként kialakított szárnyak speciális gyártási technológiát képviseltek, mivel a szegecsket az abszolút tömítettség miatt a külső héjnak a bordákhoz és hurokhoz történő csatlakoztatásánál egy speciális anyaggal tömítették.

MULTI ROLE COMBAT AIRCRAFT (MRCA) – PANAVIA 200 TORNADO

A törzsközéprészhez Donauwörth készítette a kompresszor előtti tér egy szakaszát. A keresztirányú kereteket egy daraból marták ki. További alkatrészeket legyártották a fő futóakna-ajtókat, az APU (Auxiliary Power Unit – segédhajtómű) fedelét, és különböző gerincpaneleket. Nem az összes legyártott géphez készültek itt alkatrészek, mert kb. a gyártási időszak közepén, vállalatpolitikai okokból beszüntették a helyi alkatrészgyártást, a feladatot más üzem kapta meg.

VEREINIGTE FLUGTECHNISCHE WERKE (VFW) – FOKKER 614

Ebben az utasszállító repülőgép-programban a WMD/SIAT a gyártáson felül 20%-os pénzügyi részesedéssel is részt vett. Az első sugárhajtású utasszállító repülőgép, amelyet a II. világháború után Nyugat-Németországban fejlesztettek és építettek, a VFW-Fokker 614-es volt. A WMD/SIAT gyártotta a törzs hátsó részét a függőleges és vízszintes vezérsíkokkal. A különleges kialakítású repülőgépből végül csak 16 db készült a tervezett 300-400 helyett.

AIRBUS RÉSZEGYSÉGEK

1967. szeptember 4-én Münchenben megalapították a Deutsche Airbus GmbH-t. 1968. április 30-án az építési munkálatok felgyorsítása érdekében a WMD/SIAT megren-



9. ábra. A Donauwörth-i gyár az 1960-as évek második felében folyamatosan foglalkoztatta a német ipari tanulókat [2]

delést kapott az Airbus GmbH-től egy fából készült hasonló változatra (attrap), amelyet a Donauwörth-i üzemben készítettek. Ezenkívül itt készültek a Cabin Emergency Evacuation Trainer-ek, a repülőgépek vészelhagyásának gyakorlásához szükséges eszközök, valamint az A300-600 ST speciális szállítórepülőgép, a Beluga számos részegysége (az orrkúp, a törzs felső részén kialakított rakodótér záróeleme, a törzs és a függőleges vezérsík közötti áramlásjavító elem) is. Az Airbus program keretében, Donauwörth készítette az első A300-asokhoz többek között az utastér padlójának egy részét, a mosdók vízellátását biztosító berendezéseket, a légkondicionáló berendezést, a kalap- és csomagtartókat. Ez az egyetlen merevszárnyú repülőgépekkel kapcsolatos program, amelyik – tartalmát illetően módosítva, de – még napjainkban is működik.

HELIKOPTEREK

A Szövetségi Védelmi Minisztérium licenccyártásban 352 db helikoptert rendelt meg a Bell UH-1 Iroquois („Huey”) verzióból, a német repülőipartól. A főállalkozó a Dornier AG volt – a végső összeszerelésért és a berepülésekért is ez a cég volt felelős –, amely az MBB (Messerschmitt-Bölkow-Blohm) és a VFW-Fokker bevonásával szerződött. A Dornierrel együttműködésben a Donauwörth-i üzem kulcsszerepet játszott ennek a könnyű szállítóhelikopternak a sorozatgyártásában. 1965 és 1970 között 303 db helikoptert gyártottak, amelyek során a következő részegységek készültek a gyárban: forgószárnylapátok és faroklégcsvavar, személyzeti, rakodó- és utasajtók, padlók, cellafalak, vezérlőrudak és vezérlőelemek. Az alkatrészek gyártása 1967 tavaszán kezdődött. A forgószárnylapátok és a faroklégcsvavar lapátjainak gyártása műszaki szempontból különösen jelentős volt. Azzal, hogy a WMD/SIAT új gyártási technikákat, új anyagokat vezetett be a légijárművek gyártásában, és a pontos megrendelés-feldolgozással együtt kidolgozta az ezekhez kapcsolódó tesztelési és ellenőrzési módszereket, elismerést szerzett a német repülőgépgyártásban. A következő években a WMD/SIAT emiatt olyan megrendeléseket kapott, amelyeket ezen új technológiák és anyagok nélkül nem lehetett volna teljesíteni. A lapátok minőségellenőrzéséhez a röntgenvizsgálaton kívül – amelyet minden más ragasztásnál is használtak – ultrahangos vizsgálatokat is végeztek. Hasonlóképpen, egy nagyon pontos „mérlegelési rendszert” is meg kellett valósítani a lapátok és a lapátkészletek kiegyensúlyozásá-

hoz. A lapátoknak ezt a dinamikus és aerodinamikai kiegyensúlyozását később egy próbapadon hajtották végre. A gyártási sorozat végére összesen 930 db forgószárnylapátot és 1507 db faroklégcsvavart állítottak elő. Az UH-1D-ken – a lapátok kivételével – soha nem végeztek karbantartást vagy javítást Donauwörth-ben, annak ellenére, hogy a katonai karbantartási és javítási munkák itt koncentrálták. Ezt a feladatot a Dornier teljesítette.

Az első, licenc alapján Németországban gyártott Sikorsky CH-53 Sea Stallion nehéz szállító helikoptert 1972. július 26-án adták át a hadsereg ellenőreinek. A Donauwörth-i üzem gyártotta az orr-részt, a forgószárnyagyat a burkolattal együtt, a hajtóművek burkolatát, valamint a forgószárnylapátokat és a faroklégcsvavarokat. A forgószárnylapát gyártásánál később átálltak az IRB (Improved Rotor Blade) gyártására, ahol alumínium helyett már titán főtartót használtak, a 26 különálló szekció helyett pedig már csak 1 folyamatos szekciót ragasztottak a főtartóra és a lapátok borításánál megjelentek az üvegszál-erősítésű poliuretán anyagok is. A helikopter üvegszál-erősítésű pilótafülkéje különleges technológiával készült. Az egy darabból álló külső burkolat az autoklávban 125 °C-on, 1 órás kikeményedési idővel készült, így a tömege 50%-kal könnyebb lett, mintha külön-külön gyártottak volna le minden elemet és azokat szerelik össze egy egésszé.

A CH-53G-eket, Sealynx Mk88-asokat, Super Lynx Mk88A-kat, valamint a SeaKing Mk41-eseket egyaránt itt korszerűsítették.

1. táblázat. Az Airbus Donauwörth-i üzemében gyártott helikoptertípusok [1]

Helikoptertípus	Darabszám
BO105	több mint 1400 db
H135 típusváltozatok (EC135, H135)	több mint 1400 db
H145 típusváltozatok (BK117, EC145, H145)	több mint 1600 db
NH90	több mint 400 db, ebből több mint 100 db Donauwörth-i üzemben készült
Tiger	68 db Donauwörth-ben



A KÍSÉRLETI BÖLKOW Bo 46

Az 1950-es években a helikopterekkel elérhető felső sebességhatár 250 km/h körül alakult, így a legtöbb tervező cégnél fejlesztések és kutatások folytak egy nagy sebességű helikopter megalkotására. A Bölkow Bo 46 repülőgépszerű sárkányát, valamint a forgószárnylapátokat, a faroklégcsavar és közlőműveinek próbapadjait Donauwörth-ben gyártották. 1962-ben a gép törzse el is készült, de még bő egy évbe telt, amíg a farokrész, a vezérlés, a csúszótalp, a hajtómű, valamint az elektromos rendszerek beszerelése és végső összeszerelése is megtörtént, és az összes rendszert letesztelték. 1964 elején a kész prototípust teherautón a Neubiberg légbázisra szállították, ahol a helikopter először emelkedett el a földről. A fejlesztésnek végül a technikai problémák vetettek véget, így a projektet leállították, később annak egyes elemeit felhasználták a BO105 programban.

A Bo-X esetében egy megvalósíthatósági tanulmány készítése volt a cél egy nehéz helikopter tervezéséhez, fejlesztéséhez és gyártásához. Ugyanakkor teljesíteni akarták az US-Heavy-Lift-Helicopter projekt követelményeit is, amely 20 tonna hasznos teherbírást kívánt. Megszületett a Bo-X projekt – egy nehéz helikopter, majdnem 36 méter átmérőjű forgószárnylapátokkal, 13 230 kW-os (18 000 LE-s) teljesítménnyel és 30 tonna tolóerővel. A Bo-X kisnyomású hajtásában a két hajtómű gázkiáramlása a forgószárnylapátokban kialakított csatornákon keresztül, a lapátok végén jelentkezik, és ez hozza létre a lapátok forgását. A megvalósításhoz egy már létező, nagy sorozatban gyártott hajtóművet alkalmaztak, amelyet a Boeing B-727-es esetében is használtak. A kiáramló gáz sugar hőmérséklete 230 °C volt, míg a hagyományos megoldással ez az érték 400 °C körüli. Az 1963–64-ben Donauwörth-ben gyártott forgószárnylapátokat intenzív ellenőrzésnek vetették alá. Ezután Ottobrunnba szállították, hogy összeállítsák a próbapadon. A kedvező eredmények arra buzdították a fejlesztőket, hogy részletesebben is vizsgálják meg a Bo-X projektet. A programot végül leállították, mert nem valósult meg az a tervezett előnye, hogy kevesebb alkatrészt kelljen felhasználni a meghajtáshoz ugyanannyi üzemanyag-fogyasztás mellett, mint a szokásos hajtásokkal rendelkező, lényegesen nagyobb teherbírási helikopterek esetén.

A Bo 105 MEGÉPÍTÉSE

A sikertelen Bo 102 oktatóhelikopter és a Bo 103 egyszemélyes helikopter után egyértelmű volt, hogy koncepcióváltás szükséges. A könnyűhelikopterekre vonatkozó tanulmányokat Ottobrunnban vázolták fel, és az elképzelések hamarosan két változatra szűkültek: egy kétüléses a Bo 104 és egy 4–5 üléses a Bo 105 helikopterre (9. ábra). A piaci felmérések, és mindenekelőtt a hivatalos ügynökségekkel folytatott finanszírozási megbeszélések után egyértelművé vált, hogy a többszemélyes helikopterek sokkal jobbak a jövőbeli kilátásai, következésképpen a Bo 104 projektet feladták a Bo 105 javára. A Donauwörth-i üzemen gyártott első helikopter-alkatrészeket 1963 végén szállították. A Bo 105 program kezdetén a WMD/SIAT gyártotta a törzset minden mechanikus, hidraulikus és elektromos vezetékkel és eszközzel, beleértve a kabinüveget, az üzemanyagtartályt, az ajtókat, a motorburkolatot és a titán forgószárnyagyat is. 1973. április végén, egy Bo 105-ös leszállt a Donauwörth-i gyárban, és amikor elhagyta a gyárat szeptemberben, már Bo 106-osnak hívták. Mindössze három hónap alatt Donauwörth elkészítette a Bo 106 pro-



10. ábra. Az MBB BO 105 és BK 117 típusú helikopterek gyártása az USA mentőszolgálati számára, az 1990-es évek elején (Fotó: Airbus)

totípus törzset, az előd típust középen kibővítve 25 cm-rel. A Bo 105 gyártásának koncentrációja Donauwörth-ben 1978 decemberében befejeződött. Ez természetesen jelentős beruházásokkal járt. A helikopterek felszállási és leszállási helyének létrehozása mellett a gyártóhelyiségek bővítésén túl, a repülési műveletekhez szükséges létesítményeket is el kellett készíteni, így a tornyot a repülések megfigyeléséhez, a repülőtéren tűzoltóságot el kellett látni tűzoltóautókkal, ki kellett építeni az üzemanyagtartályokat stb.

A légierő 227 db új futár és megfigyelő helikoptert igényelt VBH (Verbindungs- und Beobachtungs-Hubschrauber) jelöléssel. Az első szállítás 1979-ben történt, egyidejűleg a 212 db-os Bo 105 M-PAH1 (Panzerabwehrhubschrauber – Páncéltörő helikopter) párhuzamos gyártásával.

Bo 107, BK117, EC145, H145

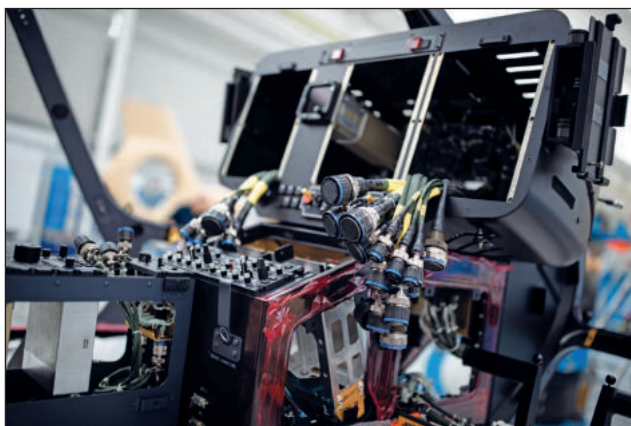
A Bo 107-es tervezésének meghatározási szakasza már 1977 februárjában befejeződött. Ezt az MBB és a Kawasaki japán csoport együttműködésével dolgozták ki. Egy hónappal később a KHI (Kawasaki Heavy Industries) és az MBB között létrejött a megállapodás az új BK117 – korábban Bo 107 – helikopter fejlesztéséről, gyártásáról és forgalmazásáról. A fejlesztés során a KHI volt a felelős a törzseről és az erőátvitelről, az MBB a farokrészt, a hidraulikus kezelőszerveket és a pedálokat, a forgószárnyagyért, a hajtóművezérlésért és a műszerfalért. Az EC145-ös első repülésére 1999. június 12-én került sor Ottobrunnban. A fő változások: az EC135-ös adaptált pilótafülkéjét szén-

11. ábra. Az Airbus H145-ös helikopter az építés fázisában (Fotó: Airbus)





12. ábra. Belső szerelési munkák az Airbus H145-ös helikopter kompozit törzsében (Fotó: Airbus)



13. ábra. A folyadékkristályos-kijelzőjű műszerfal alapelemei (Fotó: Airbus)

szálas kabinkerettel 2,56 méterről 2,96 méterre meghosszabbították. A vezérlőrendszert, a merev vezérlőrudak és a hajtókarok helyett „Flexball” rendszerűvé alakították át. A Bölkow a bevált, négylapátos titán forgószárnyagy rendszerét az újonnan kialakított rotorlapátokkal megtartotta. Napjainkban pedig már megkezdődött az ötlapátos forgószárnyagyak gyártása is. A továbbfejlesztett változat gyártása most már H145 néven folytatódik. (11–12. ábra)

Bo 108, EC135, EC635, H135

A Bo 108-as egy olyan technológiai program volt, ahol a fejlett rendszerek és alrendszerek – új sárkányba integrált – műszaki képességeit repülés közben akarták megvizsgálni. Az akkori műszaki lehetőségek teljes kiaknázása érdekében az MBB úgy döntött, hogy az új technológiákat egyetlen helikopterbe integrálja. Miután befejeződtek a fejlesztések, létrehozták az új, kéthajtóműves Bo 108-as helikoptert, amely 1988. október 15-én hajtotta végre első felszállását. Később a módosított farokrészsel, a Fenestronnal (házba épített faroklégcsavarral) ellátott német-francia helikopter típusjele EC135 lett, felfegyverezhető katonai változata pedig az EC635 jelet viseli. A népszerű helikoptert a mai napig gyártják.

EUROCOPTER TIGER

Annak érdekében, hogy a Tiger tömege a lehető legkisebb legyen, a sárkány szerkezetének csaknem 100%-a szálas kompozit anyagokból készül. A keret és a tartó aramid-szén-szálas szövetből, míg a szárnyak, hajtóműburkolatok, stabilizátorok és a másodlagos alkatrészek szendvicszer-



14. ábra. 2000 tavaszától a Tiger HAP verziójához tartozó PS-01 pilótafülkéjét Donauwörth-ben gyártották (Fotó: Kelecsényi István)

kezetekből készülnek, Nomex (kopás-, hő- és lángálló műszál) méhsejtekkkel, szén-szá- és aramid-szövet-rétegekkel történő megerősítéssel. A villámás és az elektrosztatikus töltés elleni védelem érdekében a törzs burkolatát bronz dróthálóval borítják, és a törzs mentén rézcsíkokat helyeznek el. A padló szerkezetét kifejezetten úgy kellett kialakítani, hogy földbe csapódáskor elnyelje az ütközéskor felszabaduló energiát. Ezt speciális szendvicspanelek alkalmazásával érték el. A Tiger a világ első működőképes helikoptere, amely teljes egészében szálas kompozit anyagból készült. 2000. március 28-án az első Hélicoptère d’Appui Protection (HAP – Védelmi támogató helikopter) verzióhoz tartozó PS-01 pilótafülkéjét Donauwörth-ben készítették, majd Marignane-ba szállították (14. ábra). A program elején az építés részfeladatait a következőképpen határozták meg: Donauwörth gyártja a karbonszálas pilótafülke egyes részeit, összeszereli őket egyetlen részegységgé, és az összes elektromos, mechanikai és hidraulikus alkatrészsel ellátja. Továbbá itt készül a forgószárnyagy a forgószárnylapátokkal, a fegyverfelfüggesztők és a szárnyak, a hajtóműburkolat és a transzmissziós tengely. A részegységek gyártása a Tiger programhoz 2018. július 25-én fejeződött be.

NH90 (NATO HUBSCHRAUBER DER 90ER JAHRE)

2002 áprilisában elkészült Donauwörth-ben az első NH90 pilótafülke, majd kezdetét vette a sorozatgyártás, amely jelenleg a legfontosabb katonai program. Két változatot gyártanak, NH 90 TTH (Tactical Transport Helicopter) és NH 90 NFH (NATO Frigate Helicopter) néven. (6. ábra) Eddig 14 nemzet több mint 500 db helikoptert rendelt meg. Mindkét változathoz Donauwörth-ben készülnek a helikopter első és középső moduljai, valamint a vezérlés és az üzemenyagrendszerek.

HIVATKOZOTT IRODALOM

- [1] Airbus Communications AHD <https://www.securelandcommunications.com/>;
- [2] 50 Jahre erflugreich im Flugzeugbau Siebelwerke-ATG GmbH Donauwörth. Siebelwerke-ATG 1962;
- [3] Gunston, Bill; Spick, Mike. *Modern Fighting Helicopters*. London: Salamander Books, 1986;
- [4] Dr. Molnár Viktor. *Építőanyagok II*. Győr: Széchenyi István Egyetem, 2006;
- [5] Zoth, Klaus Dieter. *Das „Werk in Donauwörth” – wie es begann 1908 und wie es ist im Jahr 2008*;
- [6] Taylor, Michael. *A modern katonai légierő enciklopédiája*. Pécs: Alexandra kiadó, 1997.;
- [7] <https://www.airbus.com/helicopters/military-helicopters/specialised/nh90-tth-and-nfh.html#photos> letöltés: 2021.02.10.



1. ábra. Eugene A. Cernan, az Apollo-17 parancsnoka 1972. december 11-én, az első autós túra előtt kipróbálja az LRV-t. A jármű több alkatrészét az űrhajósoknak kellett indulás előtt a helyére szerelniük, itt a Föld felé néző parabolaantenna és a mellé kerülő, a Földről irányított tévékamera még hiányzik az autóról. (A felvételt Harrison H. Schmitt geológus-űrhajós, a holdkomp pilótája készítette) [11]

Dr. Both Előd*

Holdautók és marsjárók I. rész

AZ ELSŐ AUTOMATA HOLDJÁRÓK: A LUNOHODOK

A sikeres küldetésű automata, önjáró járművek történetében időrendben a Szovjetunió az elsőség, ugyanis a Lunohod-1 laboratórium volt az első jármű egy idegen égitesten, nevezetesen a Holdon. [1] (A *Луноход* nevének mai szabályos átírása Lunahod lenne, de mivel a korabeli átírás szerinti Lunohod forma honosodott meg, ezt használjuk.) Az 1970. november 10-én indított Luna-17 vitte a járművet a Holdra, amellyel november 15-én szállt le az Esők tengerében (Mare Imbrium), a 38,24 É, 35,00 Ny ko-

ordinátájú helyen. [2] A csonkakúp alakú holdjáró nyolc, egymástól független meghajtású keréken gördült. Az irányítóközponttal kapcsolatot tartó antennákon kívül négy tévékamera és több tudományos műszer működött a 756 kg tömegű holdjárón. A tudományos műszerek a holdtalaj mechanikai vizsgálatára voltak alkalmasak, de emellett helyet kapott a járművön egy röntgenspektrométer, a kozmikus sugárzást mérő detektor és egy lézertükör is. Energiaellátását 180 W teljesítménnyel a műszertartály tejéjén elhelyezett napelemek biztosították, a holdi éjszakákon a tartály fedelét becsukták, és egy radioaktív izotópos

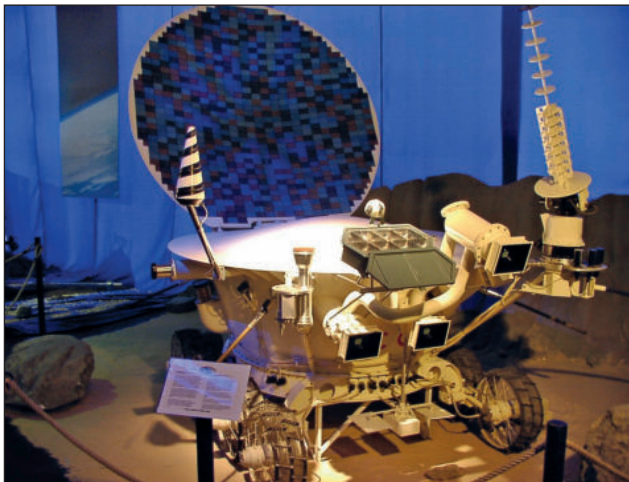
ÖSSZEFOGLALÁS: Fél évszázada, 1971 nyarán használták az első, ember vezette járművet a Hold felszínén. A következő évben további két, ugyanolyan jármű is érkezett a Holdra. Az elmúlt időszakban több robotjármű is eljutott és feladatot hajtott végre a Holdon, és a közelmúltban már a Marson is megkezdődött a kutatótevékenység. A félévszázados évforduló alkalmából felidézünk az idegen égitestekre eddig eljutott járművek történetét, és magyar vonatkozása okán kitérünk az Apollo-programban használt holdjáróra is. E tanulmányunk azonban nem témája a két égitest körül keringő robotszondák, illetve a helyváltoztatásra képtelen leszállóegységek munkájának tevékenységének.

KULCSSZAVAK: holdjárók, marsjárók, a Hold kutatása, a Mars kutatása, Apollo-program, Pavlics Ferenc

ABSTRACT: Half a century ago, on the summer of 1971 was transported to the Moon the first human driven vehicle. In the following year it was followed by two more similar ones. In the meantime and since then several other robotic vehicles had been taken not only to the Moon, but to the Mars, too. We review the history of these vehicles, due to its Hungarian relevance with special emphasis to the Lunar Roving Vehicle, used in the Apollo program. However, we do not cover the work of robotic probes, i.e. orbiters, as well as landers unable to move, used in the exploration of these celestial bodies.

KEY WORDS: Lunar rovers, Mars rovers, Lunar exploration, Exploration of Mars, Apollo program, Ferenc Pavlics

* Csillagász, a Magyar Asztronautikai Társaság elnöke. ORCID: 0000-0002-2398-9507



2. ábra. A Lunohod-2 modellje a Frankfurtban 2002-ben megrendezett „Oroszország a világűrben” című kiállításon [12]

fűtőberendezéssel akadályozták meg a műszerek kihűlését. A három holdi nappalra tervezett működési idejét jelentősen túlszárnyalva, 11 holdi nappalon át működött, mialatt több mint 20 ezer egyszerű és 200 panoráma tévéképet továbbított. A Hold felszínén 10,54 kilométert (későbbi elemzések szerint [4] csak 9,93 kilométert) tett meg, miközben több mint 500 talajvizsgálatot végzett. Működését 1971. október 4-én fejezte be.

A Lunohod-program az Apollo-programmal időbeli átfedéssel zajlott. A szovjetek már az első amerikai holdra szállás előtt (de az Apollo-8 Hold körüli keringése után), 1969 februárjában elindítottak egy Lunohodot, amely azonban a start után, a hordozórakéta felrobbanásakor megsemmisült. Amikor a Lunohod-1 eljutott a Holdra, az amerikaiak már túl voltak az első két „gyalogos” holdra szálláson, az első amerikai holdautó érkezése azonban a Lunohod-1 működési idejére esett. Mire a Lunohod-2 a Holdra érkezett, addigra azonban az Apollo-program már véget ért.

A Lunohod-2-t (2. ábra) az 1973. január 8-án indított Luna-21 holdszonda szállította a Holdra. Január 15-én szállt le a 61 km átmérőjű Le Monnier-kráterben (28,85 É;

3. ábra. A Lunohod független villanymotorokkal hajtott kerekei a frankfurti kiállításon bemutatott modellen. A kerekek a kisebb haladási sebesség miatt merev felépítésűek, eltérően az űrhajósokat is szállító, nagyobb sebességre tervezett Apollo-holdautó kerekeitől [13]



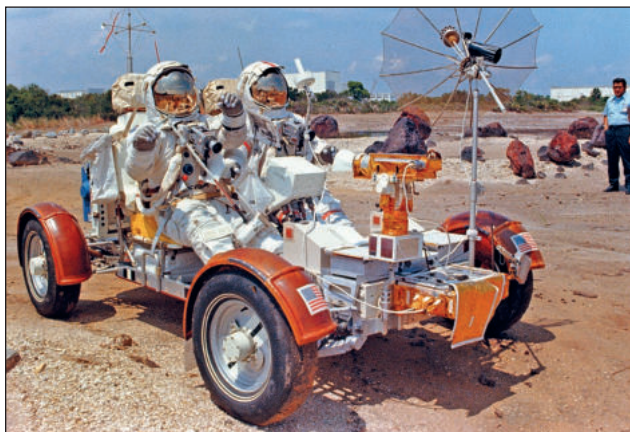
30,45 K) a Derülség tengere (Mare Serenitatis) keleti peremvidékén. [3] Tudományos feladatai közé tartozott annak megállapítása, lehet-e csillagászati megfigyeléseket végezni a Holdról, emellett mérte a holdtalaj mechanikai tulajdonságait, a helyi mágneses teret, a Nap röntgensugárzását, valamint a rajta elhelyezett lézertűkörrrel a pontos Föld-Hold-távolságot is mérni lehetett. A 840 kg tömegű jármű felépítése elődjére hasonlított, de annak több komponensét korszerűsítették. A jármű két üzemmódban, 1 km/h, illetve 2 km/h sebességgel tudott haladni. (3. ábra) Három tévékamerája közül a navigációs célokat szolgáló felvevőgép négy különböző sebességgel (3,2; 5,7; 10,9 vagy 21,1 másodpercenként egy-egy képkocka) készített nagy felbontású tévéképeket, amelyek alapján a földi irányítók meghatározták a követendő útvonalat. Energiaellátását, elődjéhez hasonlóan napelemek biztosították, a műszerek éjszakai fűtéséről polónium-210-es radioaktív izotóp gondoskodott. A Lunohod-2 négy hónapig működött, mialatt – részben a korszerűsített navigációs kameráknak köszönhetően – 37 kilométert tett meg. Ez a távolság holdfelszíni rekord, az Apollo-program holdautói is csak ennél rövidebb távolságokat tettek meg. (A 37 km-es távolságot egy „pótkerék” fordulatszáma alapján számították, amelynek mérési pontosságát eleve csak 10–15% körülnek becsülték. Később a Hold körül keringő, amerikai Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) szonda felvételei alapján 42,1–42,2 km-t mértek, végül kompromisszumként 39 km-t fogadtak el hivatalosan megtett távolságként. [4]) Kamerái 86 panorámaképet és több mint 80 ezer egyszerű tévéképet készítettek. Küldetését hivatalosan 1973. június 4-én nyilvánították befejezettnek, de a passzív lézertűkört később is használták a Hold távolságának mérésére. Egy, a közreműködő szakemberek beszámolóját tartalmazó tanulmány [5] szerint a Lunohod-2 idő előtti vesztét egy navigációs hiba okozta. Az árnyékok megtévesztették az irányítókat, a jármű egy kisebb gödörbe került, ahonnan ki tudott ugyan jönni, de a műszertartály fedele hozzáért a kis kráter falához, és holdpor hullott bele. Amikor éjszakára becsukták a fedelet, a por beborította a hőszabályozást biztosító radiátort, és amikor a következő holdi napon kinyitották a fedelet, a műszerek hamar túlmelegedtek.

AZ APOLLO-PROGRAM HOLDAUTÓI

A holdautó – hivatalos nevén Lunar Roving Vehicle (LRV) – eredetileg nem volt az Apollo-program része, a gondolat csak az 1960-as évek közepén merült fel, amikor már javában folyt a fejlesztés (az Apollo-programot Kennedy elnök 1961 májusában hirdette meg, azzal a felszólítással, hogy az amerikai űrhajósoknak még az évtized vége előtt le kell szállniuk a Holdra). Nagyobb, 3 tonna körüli vagy azt meghaladó tömegű, ember vezette holdjárókra vonatkozó előtanulmányok már készültek ugyan, de nem valósultak meg. A kisebb és könnyebb, tehát az űrhajósokkal együtt a Holdra szállítható jármű elkészítéséről csak két hónappal az első sikeres holdra szállás előtt, 1969 májusában született a döntés. [6] A NASA csak az Apollo-11 sikeres holdra szállása után, 1969. október 29-én kötött szerződést a Boeinggel (a céget négy ajánlattevő közül választották), úgy, hogy az autónak az Apollo-15 akkor még 1971 márciusára tervezett startjára kellett volna elkészülnie. Mindenesetre – még az Apollo-13 balesete okozta késést is figyelembe véve – az LRV lett méretéhez képest minden idők leggyorsabban elkészült űreszköze. (4. ábra)

A megalkotásáról szóló döntés előtt komoly vita folyt a NASA-n belül arról, hogy szükség van-e egyáltalán az LRV-





4. ábra. A holdautó földi példányának tesztelése a Johnson Űrközpontban. A földi próbákra szánt változatot nagyobb teherbírására készítették, a Holdra szánt példányok a Földön nem bírták volna el az 500 kg szállítandó tömeget [14]



5. ábra. Az utolsó holdraszállás (Apollo-17) legénysége 1972 szeptemberében a Kennedy Űrközpontban, háttérben a küldetésüket decemberben elindító Saturn-V rakétával. Az autón Eugene A. Cernan parancsnok ül, mögötte balra Harrison H. Schmitt, a holdkomp pilótája áll, jobbra pedig Ronald E. Evans, a parancsnoki kabin pilótája, aki nem szállt le a Holdra, hanem az űrhajóval a Hold körül keringett, miközben társai a felszínen dolgoztak [15]

re. Az ellenzők szívesebben látták volna, ha az autó helyett a leszálláshoz használt üzemanyag tömegét növelték volna meg, fokozva ezzel a biztonságot. Utólag visszatekintve azonban egyértelmű, hogy az LRV beváltotta a hozzá fűzött reményeket, hatékonyabbá tette a Holdon végzett kutatómunkát. Az első három („gyalogos”) küldetés űrhajósai öt, az autós küldetések űrhajósai 9 hold sétát hajtottak végre. Előbbiek összesen 96,59 kg, utóbbiak 283,48 kg kőzet- és pormintát gyűjtöttek, vagyis az egy hold sétá alatt gyűjtött minták mennyisége (19,32 kg, illetve 31,5 kg) a jármű használatának köszönhetően több mint 60%-kal nőtt. (1. táblázat) Emellett fontos szempont, hogy az LRV-vel nagyobb területet tudtak bejárni, így geológiailag változatosabb anyagot gyűjthettek. A kép teljességéhez hozzátartozik, hogy az LRV elkészítésére a Boeinggel kötött első szerződés összege 19 millió dollár volt, amely később a duplájára, 38 millióra nőtt, de mindez az Apollo-program teljes, 25,4 milliárd (akkori!) dollárra (>150 milliárd, jelenlegi árfolyamon) becsült költségvetésének [7] csupán 1,5 ezrelékét tette ki.

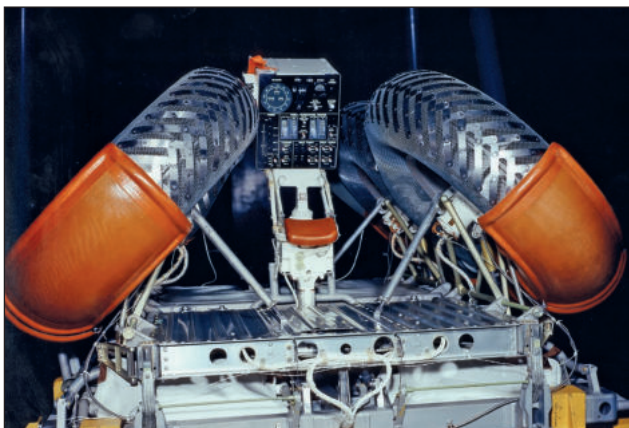
A járműnek számos előzetesen megfogalmazott követelményt kellett teljesítenie, ezeket a specifikációkat a Marshall Űrközpont projektcsoportja Saverio F. Morea vezetésével dolgozta ki. Alapvető feltétel volt, hogy a légkör nélküli Holdon, az ottani szélsőséges hőmérsékleti viszonyok között is működőképesnek kellett lennie, továbbá előírták, hogy az LRV-nek az árnyékos területeken is működnie kell.

A holdjárót alkalmassá kellett tenni a Hold sajátos üledék és szállópor-koncentrációjához, jóllehet a tervezés kezdeti fázisában még nem volt ismert, hogy az éles peremű szemcsékből álló holdpor milyen agresszíven rongálja a felületeket, amelyekre könnyen rátapadt. Komoly feltétel volt, hogy az eredeti specifikáció szerint 180 kg üres tömegű autónak (a megvalósult LRV 210 kg-os tömegű lett) el kell bírnia a két űrhajóst teljes felszerelésben, eszközeiket és a kőzetmintákat, amelyek együttes maximális tömegét 490 kg-ban határozták meg. (Ez azt jelentette, hogy az LRV-nek saját tömege kétszeresét kellett elbírnia, szemben az átlagos földi személyautóknál szokásos 50%-kal.) Különleges követelmény volt, hogy a járműnek még 45°-os lejtőn is stabilnak kellett maradnia. Mint az LRV vezető tervezője, Pavlics Ferenc egy interjúban [8] elmondta: „A kocsinak a nehéz holdi terepen biztonságosan kellett mozognia, 25 fokos emelkedőn fel kellett tudnia kapaszkodni, 30 cm magas akadályra felmászni, vagy 70 cm széles kráteren, árkon áthajtani. Oldalirányú stabilitására jellemző, hogy még 45 fokos lejtőn sem borulhatott fel. Ráadásul mindezen műszaki elvárásoknak -160 és +125 fokos hőmérsékleti tartományban kellett eleget tennie.” (5. ábra)

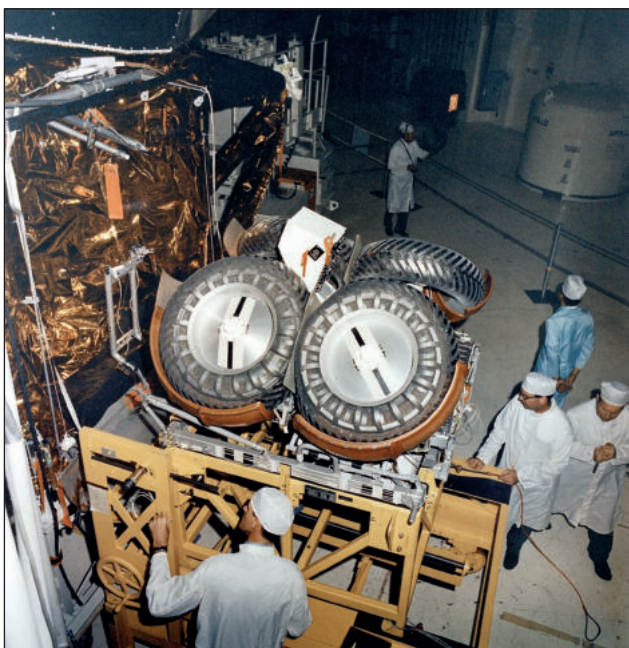
1. táblázat. Az LRV-k hatékonyságát bizonyító szám adatok [6] alapján*

	Apollo-14	Apollo-15	Apollo-16	Apollo-17
A jármű mozgásának időtartama (óra:perc)	–	3:02	3:26	4:26
A felszínen megtett távolság (km)	5,3	27,8	26,7	35,9
Az űrhajósok által a holdkompon kívül töltött idő (óra:perc)	9:23	18:33	21:00	21:30
A jármű átlagsebessége (km/h)	–	9,2	7,7	8,0
Elért legnagyobb távolság a holdkomptól (km)	?	5,0	4,5	7,6
Megtett legnagyobb távolság (km)	kb. 2,4	12,5	11,6	20,1
Gyűjtött anyagminta tömege (kg)	42,6	77,1	96,6	112,9

* Az űrhajósok nagyobb távolságot tudtak megtenni és nagyobb tömegű kőzetet tudtak gyűjteni az utolsó „gyalogos” küldetéshez (Apollo-14) viszonyítva.



6. ábra. A holdautó behajtott hátsó kerekei a jármű szállításra kész állapotában [16]



7. ábra. Az LRV csak összehajtogatva fért be a holdkompan alján kialakított, alig 1 köbméter térfogatú rekeszbe. A képen a Kennedy Űrközpont munkatársai teszik helyére a szállításra kész autót [17]

Az autó Holdra szállításához a holdkompan mindössze 1 m³ helyet tudtak szorítani, így az LRV-t összehajtvá kellett tárolni. (6., 7. ábra) [10] Ugyanakkor azt is megkövetelték, hogy az eszközt a Holdon az űrhajósok legfeljebb 15 perc alatt üzemkész állapotba tudják kicsomagolni akkor is, ha a holdkom 14,5°-kal megdőlt helyzetben száll le, az alja pedig a talajtól 35–157 cm között bármekkora magasságba kerülhet. Előírták a kritikus rendszerek redundanciáját (többszörözését), továbbá a kezelőszervek középen, mindkét űrhajós számára elérhető módon történő elhelyezését. (A valóságban ez csak lehetőség maradt, mert Pavlics Ferenc visszaemlékezése szerint [8] a parancsnokok egyetlen alkalommal sem engedték át társuknak az autó vezetését.) Végül, a járműre olyan navigációs rendszert kellett készíteni, amelynek segítségével az űrhajósok mindig pontosan tudták, hol járnak, sőt azt is, hogy vészhelyzet esetén melyik a legrövidebb, a holdkomphoz visszavezető útvonal.

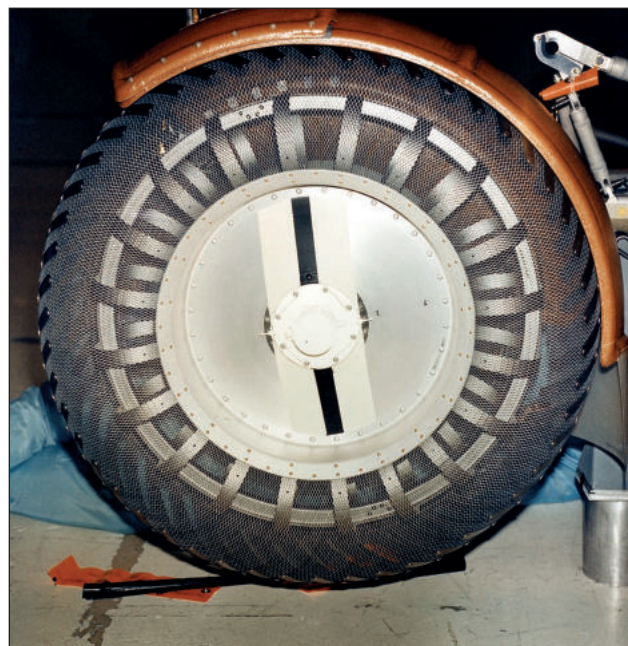
A holdautót, fővállalkozóként a Boeing építette, de alvállalkozóként jelentős szerepet kapott a General Motors

(GM) Santa Barbara-i (Kalifornia) részlege. A jármű mozgását végző alrendszert például az alváz kivételével teljes egészében a GM építette. Vezető tervezője egy Kaliforniában letelepedett, a GM-nél dolgozó magyar származású gépészmérnök, Pavlics Ferenc [8] (lásd a keretes írást) volt. A tervei alapján elkészült LRV hosszúsága 3,1 méter, szélessége 1,8 méter, tengelytávolsága 2,3 méter, magassága 1,4 méter, hasmagassága – teljes terhelés alatt – 35 cm volt. Négy kerekét elektromos motorok hajtották, amelyeket akkumulátorok tápláltak. A járműre kamera és a Földdel közvetlen kapcsolatot biztosító parabolaantenna is került. Maximális tervezett sebessége 13–14 km/h volt, de az Apollo-16 parancsnoka 18 km/h-val felállította a holdfelszíni sebességrekordot, igaz, akkor csak egyedül ült az autón.

A négykerekű jármű elején, az alváz 95 cm széles, 74 cm hosszú keretén kaptak helyet az akkumulátorok, a meghajtást vezérlő és a navigációs elektronika, valamint a tévéadást továbbító irányított antenna. A szélesebb, csaknem négyzet alakú (1,41 m széles, 1,35 m hosszú) középső részén helyezték el az űrhajósok üléseit a lábtartókkal és a jármű kezelőszerveit, valamint a hangcsatornát továbbító, minden irányban sugárzó antennát. Az ülések mögött, az elülsőhöz hasonló, de annál 4 cm-rel rövidebb kereten alakították ki a „csomagtartót”, itt helyezték el az űrhajósok eszközeit, a tudományos műszereket és a begyűjtött mintákat. (Az energiaellátó rendszert, az antennákat, a tudományos műszereket és a mintagyűjtéshez szükséges eszközöket a houstoni Johnson Űrközpontban (Johnson Space Centerben – JSC) készítették. A szükséges felszerelést az űrhajósok a Holdon, az autó kicsomagolása után helyezték el a járművön. (1. ábra)

Az LRV kerekeit Pavlics Ferenc szabadalma alapján készítették el. A 80 cm átmérőjű, 23 cm széles, egyenként 5,4 kg tömegű kerekek abroncsa cinkkel borított acélhuzalokból szőtt sodronyból készült, amit keresztfonatosan elhelyezett titánszalagok merevítettek, utóbbiak tették lehetővé a nyomaték jobb átadását. (8., 9. ábra) A megoldás a

8. ábra. Az LRV első Holdra szánt példányának (LRV No. 1.) egyik kereke közelről. A kerék a holdautó tervezését és építését irányító mérnökcsoport vezetője, Pavlics Ferenc szabadalma alapján készült [18]





9. ábra. A holdautó Pavlics Ferenc szabadalma alapján készített kerekének részlete. A zongorahúrokból szőtt hálót szegecsekkel felerősített titánszalagokkal vették körül. A megoldás nemcsak kellő rugalmasságot biztosított, hanem a kerék kipörgését is megakadályozta a poros talajon [19]

sokkal lassabban közlekedő automata holdjárók merevebb kerekeivel szemben a nagyobb sebesség mellett is kellő rugalmasságot, így az űrhajósok számára kényelmesebb utazást biztosított. A földi tesztek eredménye szerint a kerék rugalmassága ahhoz is elegendő volt, hogy az LRV 14 km/h sebességgel 30 cm magasan kiálló sziklákon is a futómű megrongálódása nélkül haladjon át. A kerekeket egy-egy 0,2 kW teljesítményű, 36 V-os egyenárammal működő villanymotor mozgatta, amelynek forgását hullámhajtással (*harmonic drive*), 80:1 áttétellel vitték át a kerékre. A motort egy zárt házban helyezték el, amelybe 52 kPa

nyomású nitrogént töltöttek, nehogy holdpor kerülhessen a motorba, de a gáz egyúttal a hőtadást is segítette. A kerekeket mechanikusan szabadonfutó üzemmódba lehetett kapcsolni, a mechanikus féket pedig a vezérlés botkormányával működtették. Mind a négy kerék kormányozható volt, elfordulásukat kis villanymotorokkal biztosították, így 3 méteres fordulási sugarat értek el.

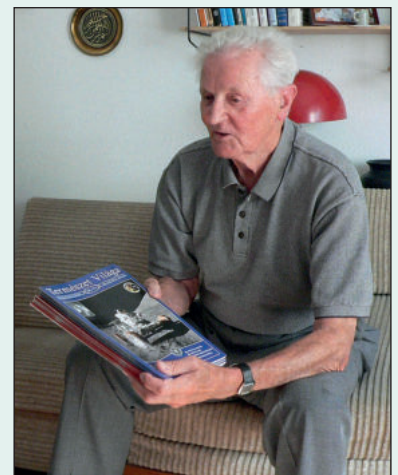
(Folytatjuk)

HIVATKOZOTT IRODALOM

- [1] „Lunar exploration spacecraft”. Elérés 2021. március 3. Moscow State University, Department of Lunar and Planetary Research <http://selena.sai.msu.ru/Home/Spacecrafts/Spacecraftse.htm>;
- [2] NASA Space Science Coordinated Archive, „Luna 17/Lunokhod 1” <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=1970-095A>;
- [3] NASA Space Science Coordinated Archive, „Luna 21/Lunokhod 2” <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=1973-001A>;
- [4] Alexandra Witze, „Space Rovers in Record Race”. *Nature News* 498, sz. 7454 (2013. június 20.): 284. <https://doi.org/10.1038/498284a.>;
- [5] Andrew Chaikin, „The Other Moon Landings”. *Air & Space Magazine*. Elérés 2021. március 17. <https://www.airspacemag.com/space/the-other-moon-landings-6457729/>;
- [6] Saverio F. Morea, „The Lunar Roving Vehicle – Historical Perspective.” in *The Second Conference on Lunar Bases and Space Activities of the 21st Century*, Proceedings from a conference held in Houston, TX, April 5-7, 1988. Edited by W. W. Mendell, NASA Conference Publication 3166, 1992., p.619 <https://space.nss.org/wp-content/uploads/>

PAVLICS FERENC

1928-ban a Vas megyei Balozsamegygyesen született. Szombathelyen, a Faludi Ferenc Gimnáziumban érettségizett 1946-ban. Gépészmérnöki diplomáját a Budapesti Műszaki Egyetemen (akkor József Nádor Műegyetem) szerezte. A Gépipari Tervező Intézetben mérnökként dolgozott, és közben a BME Gépgyártás-technológia Tanszékén tanított. Az 1956-os forradalom leverése után elhagyta Magyarországot. 1957 tavaszán Detroitban, a General Motors kutatóosztályán kapott állást, ahol terepjárók, lánctalpas járművek meghajtásával kapcsolatos alapkutatásokat végeztek, elsősorban a hadsereg számára. 1961-től a General Motors Santa Barbara-i részlegnél dolgozott, így kezdetől fogva a mintegy 400 fős fejlesztő csapat vezetőjeként, a holdjáró program műszaki igazgatójaként bekapcsolódott a Lunar Rover (holdautó) fejlesztésébe. A jármű kerekének különleges technikai megoldása az ő szabadalma. Az 1970-es évek végén a General Motors Európába helyezte, Bécsben majd Németországban dolgozott. Részben az általa kiépített kapcsolatoknak volt köszönhető, hogy később a GM Szentgotthárdra telepítette az Opel egyik gyárát. Az 1980-as években Németországban és Spanyolországban az Opel Corsa gyártását és minőségellenőrzését szervezte, irányította. Később hibrid hajtású és üzemanyagcellás járművek fejlesztésével foglalkozott, részt vett a Santa Barbara-i elektromos meghajtású autóbushálózat kifejlesztésében. A NASA szaktanácsadójaként 1996-ban részt vett a Pathfinder űrszonda távirányítású Mars-járműve, a Sojourner kifejlesztésében, majd 2003-ban a Mars Exploration Rover program két Mars-járója, a Spirit és az Opportunity tervezésében. Ezután a NASA Constellation programjában egy járműcsalád kifejlesztésén dolgozott, de a programot felfüggesztették. Ezt követően véglegesen nyugdíjba vonult.



10. ábra. Pavlics Ferenc 2010-ben Budapesten

2008-ban megkapta a Magyar Köztársasági Érdemrend középkeresztje kitüntetését „a Holdjáró (Lunar Roving Vehicle) létrehozásának kezdeményezéséért, megalkotásáért, mérnöki életművéért, valamint a magyar–amerikai ipari, gazdasági és kereskedelmi kapcsolatok előmozdítása érdekében végzett munkásságáért”. [8], [9], [10]

- Lunar-Bases-conference-2-706-Lunar-Roving-Vehicle.pdf;
- [7] 1974 NASA authorization hearings, *Ninety-third Congress, first session, on H.R. 4567 (superseded by H.R. 7528)*. Washington: 1973: p. 1271 <http://hdl.handle.net/2027/mdp.39015084762718>;
- [8] „Az életben ritkán adódik ilyen alkalom egy embernek! Beszélgetés Pavlics Ferencsel, a holdautó fő konstruktőrével I.”, *Természet Világa*, 2008. augusztus <http://www.termeszetvilaga.hu/szamok/tv2008/tv0808/pavlics.html>;
- [9] „Más szemmel nézek a Holdra, mint azelőtt” (Beszélgetés Pavlics Ferencsel, II.), *Természet Világa*, 2008. szeptember. <http://www.termeszetvilaga.hu/szamok/tv2008/tv0809/pavlics.html>;
- [10] „Véglegesen nyugdíjba vonultam: Budapesti beszélgetés Pavlics Ferencsel, a holdautó főkonstruktőrével” *Természet Világa*, 2010. szeptember <http://www.termeszetvilaga.hu/szamok/tv2010/tv1009/pavlics.html>;
- [11] <http://images-assets.nasa.gov/image/as17-147-22526/as17-147-22526~orig.jpg> (Forrás: NASA Image and Video Library);
- [12] https://en.wikipedia.org/wiki/Lunokhod_programme#/media/File:Lunokhod-2_model.jpg (Forrás: Wikipedia, CC BY-SA 3.0);
- [13] [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/af/Lunokhod-2_model%2C_detail.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/af/Lunokhod-2_model%2C_detail.jpg/1024px-Lunokhod-2_model%2C_detail.jpg) (Forrás: Wikipedia, CC BY-SA 3.0);
- [14] <https://images-assets.nasa.gov/image/9131579/9131579~orig.jpg> (<https://images.nasa.gov/details-9131579>) Forrás: NASA Image and Video Library;
- [15] <https://images-assets.nasa.gov/image/S72-50438/S72-50438~orig.jpg> (<https://images.nasa.gov/details-7021092>) Forrás: NASA Image and Video Library;
- [16] <https://images-assets.nasa.gov/image/7021092/7021092~orig.jpg> (<https://images.nasa.gov/details-7020219>) Forrás: NASA Image and Video Library;
- [17] <https://images-assets.nasa.gov/image/7020219/7020219~orig.jpg> (<https://images.nasa.gov/details-7020219>) Forrás: NASA Image and Video Library;
- [18] <https://images-assets.nasa.gov/image/7020255/7020255~orig.jpg> (<https://images.nasa.gov/details-7020255>) Forrás: NASA Image and Video Library;
- [19] <https://images-assets.nasa.gov/image/GRC-2017-C-00745/GRC-2017-C-00745~orig.jpg> (<https://images.nasa.gov/details-GRC-2017-C-00745>) Forrás: NASA Image and Video Library;
- [20] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c9/Pavlics_Ferenc_Budapest_2010.JPG (Wikipédia, a szerző felvétele).

Honvédelem és Trianon Kézzelfogható hadtörténelem

Az elsőre talán meglepő hangzású dobozkönyv fogalma nem ismeretlen a történelem iránt érdeklődő olvasók számára, hiszen a HM Hadtörténeti Intézet és Múzeum, valamint a HM Zrínyi Nonprofit Kft. interaktív dobozkönyvsorozatának a közelmúltban immár az ötödik darabja látott napvilágot. A *Kézzelfogható hadtörténelem* sorozatban a trianoni békediktátum 100. évfordulója alkalmából került az olvasók kezébe a *Honvédelem és Trianon* című átfogó munka, amely a békeszerződés magyar haderőre gyakorolt hatásait mutatja be rendhagyó eszközeivel.

A témát magyar katonai szemszögből tárgyaló könyv gazdag képanyaggal, különleges múzeumi és levéltári dokumentumok – levelek, jelentések, osztályozási értesítők, jegyzőkönyvek, igazoló jegyek, plakátok, hirdetmények, igazolványok, oklevelek, emléklapok, meghívók, belépőjegyek, térképek – facsimile nyomatai segítségével hozza életszerű közelségbe az olvasóhoz.

A kötet élményszerűen mutatja be az eseményeket és azok hátterét az első világháború végnapjaitól az 1927. évi VII. törvénycikk megalkotásáig (amely a trianoni békeszerződés katonai rendelkezéseit módosította). Lapjain hiteles képet ad a Magyarországot sújtó diktátumról, annak részleteiről, következményeiről, illetve honvédelemre gyakorolt hatásairól. Bemutatja az 1918 és 1920 közötti viharos bel- és külpolitikai viszonyokat, a proletárdiktatúra időszakát, a katonailag védtelenné vált Magyarország lakosság- és területveszteségeit, illetve azok máig ható következményeit.

A dobozkönyv lapjain és oldalak közül kiemelhető mellékleteken kronológiai bontásban elevenednek meg a Kárpát-medencében zajló események, a magyar haderő szervezésére és a határok védelmére tett megújuló kísérletek, a békeszerződés katonai korlátozásai, illetve mindezek hatásai a függetlenné váló ország haderejének szervezetére, működésére és mindennapi életére. A téma kutatóinak írásából megismerhető az új helyzethez igazodó katonai szimbólumrendszer, a rejtett magyar haderő fegyverzete, felszerelése, valamint az azt előállító hadiipar tevékenysége, akárcsak a korban kialakult hőskultusz is.

A Sallay Gergely szerkesztésében a Zrínyi kiadónál megjelent, két CD hanganyaggal, több mint 200 színes illusztrációval és 59 melléklettel, valamint speciális ajándékcsoomaggal ellátott, keménytáblás dobozkönyv terjedelme 68 oldal. 13 900 Ft-os áron kapható a könyvesboltokban, illetve közvetlenül a Zrínyi Kiadótól 30% helyszíni kedvezménnyel 9730 Ft-ért. Cím: 1024 Budapest, Fillér utca 14., (tel.: 06 1-459-5373, e-mail: cinti@hzmzinyi.hu. (DRU.)



Radarberendezések középfrekvenciás impulzus-kompressziós adójel-generáló és vevő-jelfeldolgozó rendszere

A MILTECH Haditechnikai és Informatikai Zrt. portfoliója mérnöki és szolgáltatási tevékenység, amely magában foglalja a Magyar Honvédség hadrendjében található radarok és rakétairányító rendszerek fejlesztését, modernizálását, javítását, rendszerbe illesztését és oktatását. Az ezen munkák során megszerzett tapasztalatok más típusú légvédelmi eszközök vezetési rendszereinek korszerűsítéséhez is tudásháttérrel építenek. A MILTECH Zrt. kutatás-fejlesztési és innovációs képességekkel, szakértőkkel, fejlesztő- és szakmérnökökkel, technikusokkal, szerelőkkel, valamint a tevékenységhez szükséges eszközparkkal és infrastruktúrával rendelkezik. A megtervezett és kifejlesztett rendszerek szoftvervezérlésűek, korszerű alkatrészbázisra épülnek, a fejlesztések hazai és nemzetközi mércével mérve is elismert magas technológiai színvonalat képviselnek. Tanulmányunkban egy középfrekvenciás impulzus-kompressziós adójel-generáló és vevő-jelfeldolgozó rendszert, valamint annak elméleti háttérét kívánjuk bemutatni.

FELDERÍTÉSI TÁVOLSÁG ÉS FELBONTÓKÉPESSÉG

A rádiólokátor a különböző tárgyról (célokról) visszaverődő – a radar által kibocsátott – rádióhullámok által érzékeli a tárgyak helyzetét, formáját és méretét.

Egy radarberendezés felderítési képességének fontos paramétere a radar maximális felderítési távolsága és a radar felbontóképessége, amelyek értéke több tényezőtől függ.

A radar R_{\max} maximális felderítési távolsága meghatározható a radaregyenletből [1]:

$$R_{\max} = \left(\frac{1}{(4\pi)^3} \frac{P_t \tau \lambda^2 G_t G_r}{DL_s} \frac{1}{k T_s} \frac{F^4}{L_a} \sigma \right)^{\frac{1}{4}}$$

ahol:

P_t – a radar adóteljesítménye,
 τ – impulzusszélesség,

λ – hullámhosszúság,

G_t – adónyereség,

G_r – vevőnyereség,

D – detektálhatóság n impulzus integrálása esetén (detekcióhoz szükséges minimális jel-zaj viszony),

k – Boltzmann-állandó,

T_s – zajhőmérséklet,

L_s – rendszerveszteségek,

L_a – környezeti veszteségek,

F – terjedési faktor(ok),

σ – céltárgy átlagos radarkeresztmetszet.

A radaregyenlet összekapcsolja azon fő tényezőket, amelyek a radar felderítési tulajdonságait befolyásolják. Az egyenlet kifejtése és részletes megoldása a szakirodalomban megtalálható.

A teljes radar performancia analízishez a MILTECH Zrt. saját fejlesztésű programmal rendelkezik (1. ábra), amellyel a radarfelderítési diagram is előállítható az antenna sugárzási karakterisztikájának figyelembevételével. [2]

A radaregyenlet meghatározza, hogy milyen fő tényezők befolyásolják a radar maximális felderítési távolságát adott céltárgyra vonatkozóan:

1. a radar fő műszaki paraméterei (2. szorzótényező), mint pl. az adó, a vevő, az antenna, a jelfeldolgozás jellemzői;
2. külső vagy belső forrásból eredő zajok, mint pl. termikus zaj (3. szorzótényező);
3. radarhullám terjedését befolyásoló külső tényezők, mint pl. légköri csillapodás, refrakció, reflexió, diffrakció, interferencia (4. szorzótényező);
4. céltárgy jellemzői, mint pl. mérete, anyaga, formája (5. szorzótényező).

A 3. és 4. pontban szereplő külső tényezők adottan vehetők, így a zajhőmérséklet (T_s) és rendszerveszteségek (L_s) csökkentése mellett nagyobb felderítési távolság érhető el, ha:

- a) növeljük az adó-vevő antenna nyereségét, növelve a nyaláb irányítottságát;

ÖSSZEFOGLALÁS: A Gazdaságfejlesztési és Innovációs Operatív Program (GINOP 2.1.7-15 pályázat) keretében a MILTECH Zrt. kifejlesztett egy középfrekvenciás impulzus-kompressziós adójel-generáló és vevő-jelfeldolgozó rendszert radarberendezésekhez. Az impulzus-kompresszió háttérnek és eljárásainak bevezetése után a tanulmány bemutatja a kifejlesztett eszközöt és annak fő paramétereit.

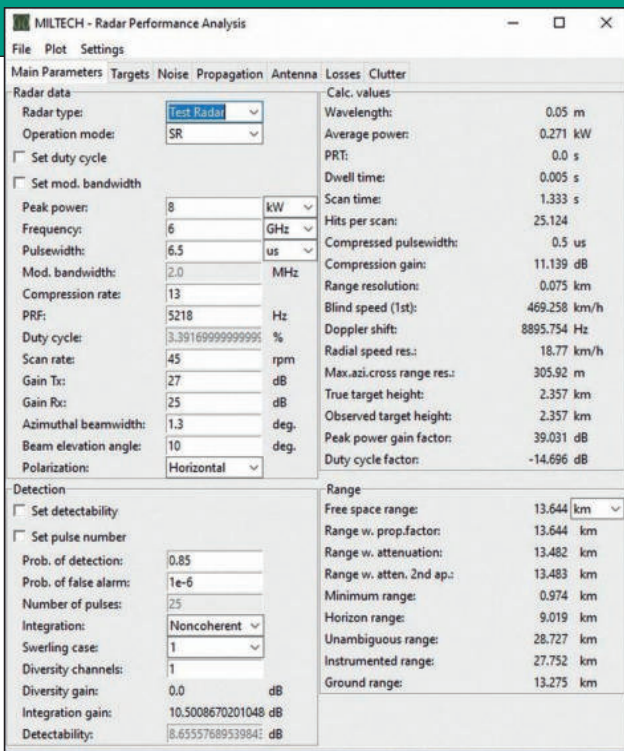
KULCSSZAVAK: radar, impulzus-kompresszió, DSP, FPGA, STC, jelfeldolgozás

ABSTRACT: Within the framework of the Hungarian Economic Development and Innovation Operational Program (GINOP 2.1.7-15), the Hungarian MILTECH Co. developed an IF pulse compression signal exciter and receiver device for radar systems. After the introduction of pulse compression methods and the background, the developed device and its main parameters are presented in this article.

KEY WORDS: radar, pulse compression, DSP, FPGA, STC, signal processing

* Vezérigazgató-helyettes, MILTECH Zrt. ORCID: 0000-0002-4562-8083

** Fejlesztési osztályvezető (Ph.D.), MILTECH Zrt. ORCID: 0000-0002-2658-2876



1. ábra. Radar performancia analízis program (A szerzők által készített képernyőkép)

- b) növeljük az adó csúcsteljesítményét;
- c) növeljük a kisugárzott impulzus hosszúságát (azaz az előző ponthoz hasonlóan növelve a nyaláb $P_t \cdot \tau$ energiáját);
- d) javítjuk a D detektálhatóságot.

Egy adott radar modernizálásánál az a és b pont egységeinek cseréje – pl. nagyobb teljesítményű adóra a jobb felderítés érdekében – eléggé költséges, ezért vizsgáljuk meg a c és d pont alatti lehetőségeket.

A D detektálhatóság – azaz a detektáláshoz szükséges minimális jel-zaj viszony (SNR, Signal to Noise Ratio) – értéke több tényezőtől függ. D értéke megbecsülhető a detektálás valószínűségéből, a hamis riasztás valószínűségéből, az impulzusok számából, és a céltárgy jellegét megadó ún. Swerling¹-számból [3], amely a céltárgy alakját és fluktuációját jellemzi (1. táblázat). A D detektálhatóság javítható, ha több impulzust integrálunk a céltárgyról. A javulás mértéke függ az integrálás módjától is (lásd később).

A céltárgyat ért beütések száma – így az integrálható impulzusok száma – növelhető az impulzusismétlés frekvenciájának növelésével és/vagy a megvilágítás idejének növelésével. Az impulzusismétlés frekvencianövelésének gátat szab, hogy ezzel csökken az egyértelműségi hatótáv-

volság, tehát az a távolság, amelynél még a céltárgy távolsága egyértelműen megállapítható a visszavert jelekből. A céltárgy megvilágítási ideje függ a radarnyaláb szélességétől és a pásztázás sebességétől. A felderítőradarok esetében nem preferált nagy nyalábszélesség, mivel ekkor romlik a szögfelbontás (az a minimális szög, amelynél két cél még elkülöníthető egymástól). A pásztázás sebességének csökkentésével (pl. forgó radarok esetén az antenna-fordulatszám csökkentésével) növelhető a megvilágítás időtartama, ekkor azonban a gyorsan manőverező célok követése romlik.

Egy másik lehetőség a radar felderítési távolságának növelésére, ha adott adóteljesítmény és adó-/vevőnyereség mellett a kisugárzott impulzus hosszúságát növeljük, ezzel növelve az impulzus energiáját. Az impulzus τ hosszúságának növelésével azonban romlik a radar radiális irányban mért távolság szerinti felbontóképessége, azaz nő az a minimális δr távolság, amely ahhoz szükséges, hogy két céltárgyat még meg tudjunk különböztetni egymástól:

$$\delta r = c \cdot \frac{\tau}{2},$$

ahol c az elektromágneses hullám terjedési sebessége.

Az impulzus hosszúságának változtatásával elérhető nagyobb felderítési távolság, a felbontóképesség romlása nélkül, ha növeljük a jel B sáv szélességét.

IMPULZUS-KOMPRESSZIÓ

Impulzus-kompresszió során modulációval egy hosszabb τ impulzuson belül kisebb τ_c hosszúságú jelsorozat keletkezik, növelve ezzel a jel sáv szélességét ($B = \frac{1}{\tau_c} > \frac{1}{\tau}$). A τ/τ_c kompressziós arány növelésével (kisebb τ_c hosszúsággal) már megfelelő radiális felbontás érhető el a felderítési távolság csökkenése nélkül.

Az impulzus modulálására frekvencia- vagy fázismodulációs eljárásokat alkalmaznak (az amplitúdómoduláció energiavesztéssel jár, és nehezebben megvalósítható a gyakorlatban). A radarokban leggyakrabban használt modulációs eljárások:

- frekvenciamoduláció:
 - lineáris frekvenciamoduláció (LFM),
 - nem-lineáris frekvenciamoduláció (NLFM),
- fázis(kód)- moduláció:
 - bináris (BiPhase): pl. Barker-kód² moduláció [5],
 - több fázisú (PolyPhase): pl. Frank kód.

A 2. ábrán egy szimulált 13 bites Barker-kódú fázismodulációs jel látható. Az ábrán jól látható, hogy a 13 bit

1. táblázat. Swerling-számok és a céltárgyak jellege (Forrás: [1], [4] alapján a szerzők szerkesztése)

Swerling-modell	Céltárgy típusa
SW0	nem fluktuáló céltárgyak (vagy más néven Marcum eset)
SW1	sok azonos jellegű céltárgy csoportja esetén, ha lassan fluktuálnak, impulzusról impulzusra korrelációban vannak
SW2	sok azonos jellegű céltárgy csoportja esetén, ha gyorsan fluktuálnak, impulzusról impulzusra nincsenek korrelációban
SW3	sok kis céltárgy együttese egy nagy céltárggyal (pl. rezonáns felületek), ha azok egymással korrelációban vannak, lassú fluktuáció (mint SW1)
SW4	sok kis céltárgy együttese egy nagy céltárggyal, ha azok nincsenek egymással korrelációban, gyors fluktuáció (mint SW2)



sorozatban hogyan változik a fázis (0° v. 180° -kal): +1 +1 +1 +1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 -1 +1. Barker-kód fázismoduláció esetén az 1 bitnek megfelelő hosszúságú szakasz adja a komprimált impulzus hosszúságát.

Az impulzus-kompressziós radar működésének megértése érdekében célszerű a cél sikeres detektálásának folyamatát végig követni az adótól a célig, majd vissza a vevőig. A szimulált példa radar és céltárgy fő adatai a 2. táblázatban látható (monosztatikus radart feltételezve, azaz a radar adó és a vevő egy helyen van).

2. táblázat. A példa radar fő adatai*

Csúcsteljesítmény, P_t	8 kW
Adónyereség, G_{tx}	27 dB
Vevőnyereség, G_{rx}	25 dB
Frekvencia, f	6 GHz
Impulzusszélesség, τ	6,5 μ s
Moduláció	13 bites Barker-kód
Cél átlagos radarkeresztmetszete, σ	1 m ²
Céltárgy fluktuációs modell	Swerling 1
Hamis riasztás valószínűsége, P_{fa}	10^{-6}

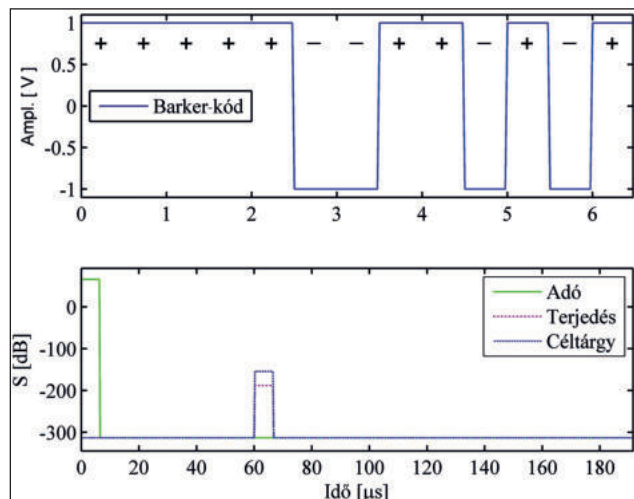
* A táblázat a szerzők szerkesztése

A RADARDETEKCIÓS FOLYAMAT FŐ LÉPÉSEI

1. **Adó és antenna:** a radar adója 6,5 μ s szélességű 13 bites Barker-kód modulált impulzust sugároz ki $G_{tx} = 27$ dB antennanyereséggel és 8 kW csúcsteljesítménnyel (2. ábra). Az adóteljesítményt átváltva (kb. 39 dB), a sugárzott jel maximális szintje az antennanyereséggel így kb. 66 dB (a 2. ábrán zölddel).

2. **Terjedés (céltárgyig):** az impulzus a kb. $R = 9$ km távolságra lévő céltárgyat eléri (mivel az oda-vissza útra $R = c \cdot \frac{\Delta t}{2}$, ez időben megfelel kb. $\Delta t = 60 \mu$ s-nak a 2. ábrán). A terjedés során a jel a távolság négyzetével fordított arányosan gyengül.

2. ábra. Szimulált 13 bites Barker-kód, valamint az adójel és a terjedés utáni céltárgy jelszintjei (Forrás: a szerzők szerkesztése)



3. **Céltárgy:** a céltárgyról a jel visszaverődik, ekkor – hasonlóan egy reflektor antennához – a radar-keresztmetszetnek megfelelő antenna apertúra nyereséggel nő a jelszintje (a 2. ábrán szaggatott kék). Ez az ún. céltárgy nyereségfaktor az adott frekvencián megfelel kb. 37 dB növekménynek a jelben (a céltárgyfluktuációt is figyelembe véve).

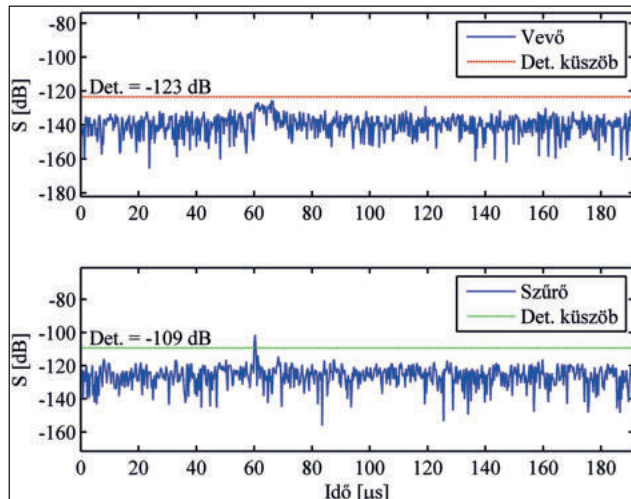
4. **Terjedés (vevőig):** a jel szintje a céltárgytól vissza a vevőig újból csökken, hasonlóan a céltárgyig történő terjedéshez. A 2. ábrán magenta szín jelöli a kétutas szabad terjedés (oda-vissza út) utáni jelszintet. Az egyszerűség kedvéért a további légköri csillapítást, terjedési faktorokat és egyéb, a jel szintjét befolyásoló tényezőket itt ideálisnak tekintjük.

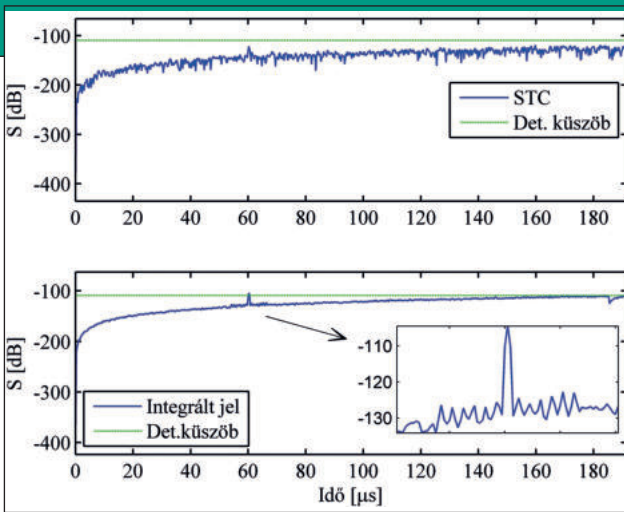
5. **Vevő:** a 3. ábra mutatja a vevőn megjelenő jelet a háttérzajjal együtt (az egyszerűség kedvéért csak termikus fehér zajt feltételezve). Az ábrán pirossal jelölt detektálási küszöb megkapható a vevő paramétereiből (zajtényező, sávészellelesség) figyelembe véve az integrált impulzusok számát és a detekciós követelményeket (hamis riasztás valószínűsége). Az ábrán látható, hogy a vett jel szintje még nem éri el a detekcióhoz szükséges küszöböt (3. ábrán piros). A képről továbbá látható, hogy az impulzus a célnál (60 μ s-nál) elég széles, amely gyenge felbontást eredményez.

6. **Szűrés és jelfeldolgozás:** A jel-zaj viszony javítása érdekében a vett jelet először szűrjük (az integrálás és a detektálás előtt). Demoduláció után a vett jel a korrelátorba jut. A szűrő korrelátora elvégzi a vett jel és az illesztett, időben fordított konjugált adóimpulzus jel konvolúcióját³ (ezért illesztett szűrő). A szűrés időbeli eltolást eredményez a jelben, amelyet kompenzálni kell. A modulált jelek korrelációjával további nyereség (ún. processing gain – feldolgozási nyereség) érhető el a szűrővel, javítva ezzel a detekciós küszöb értékét (3. ábrán zölddel). Másrészt látható a moduláció másik előnye is az ábrán: az illesztett szűrő az időtartományban összenyomja a hullámformát (impulzuskompresszió), így a szűrt impulzus már sokkal keskenyebb, amely jobb felbontást eredményez radiális távolságban.

7. **Nyereségvezérlés:** a különböző távolságban elhelyezkedő, különböző méretű objektumokról széles amplitúdótartományban érkező jelek a radar vevőjére, amelynek dinamikátartománya véges. Közeleli, nagy méretű objektumokról érkező nagy jel nem kívánt telítést okoz a vevőben, amelyet kontrollálni kell. Nyereség vezérlésére több eljárás is létezik. A 4. ábrán az STC (Sensitivity Time Control – idő szerinti érzékenységszűrés) eljárás látható: a vett jel úgy

3. ábra. Vevő és az illesztett szűrő utáni jelek a detekciós küszöbvel (Forrás: a szerzők szerkesztése)





4. ábra. STC nyereségvezérlés és integrálás utáni jelszintek, detekciós küszöb és oldalszirmok (nagyítva) (Forrás: a szerzők szerkesztése)

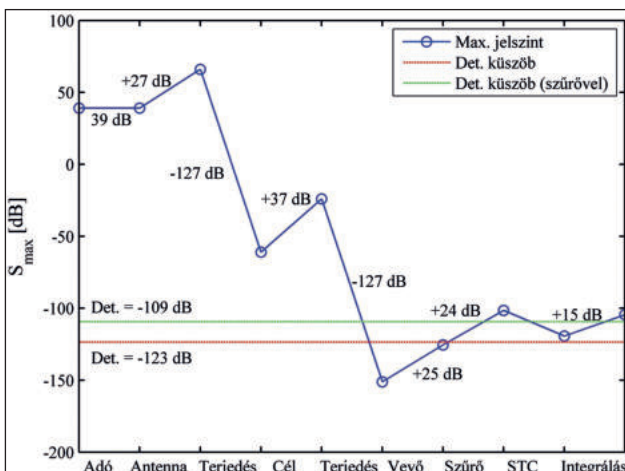
került módosításra, hogy a közelről érkező jelek szintje arányosan kisebb legyen a referencia távolságból érkező jelszinthez képest. Így a különböző célok jelszintjei már a távolságtól függetlenek.

8. *Detektálás:* jelfeldolgozás után a célról érkező jelek integrálhatók. A 4. ábrán látható, hogy integrálással a jel-zaj viszony javul, a javulás mértéke függ az integrálás módjától. Inkoherens integrálásnál a fázis információ nem kerül felhasználásra, a jelek abszolútérték-négyzet összegének a gyöke az integrált jel. Így n impulzus inkoherens integrálása esetén a jel-zaj viszony kb. \sqrt{n} -szeresére javul. Koherens integrálásnál, a fázisinformációkat felhasználva a jelek összeadhatók, így nagyobb (n -szeres) SNR javulás érhető el. A példában bemutatott radarban 25 impulzus inkoherens integrálásával a jel maximuma újra a detekciós küszöb fölé kerül (4. ábra), miközben a zaj átlagos amplitúdója csökken (összegzés miatt átlagolttá válik a véletlenszerű zaj). Így a detektor kimenetén már a háttérzaj jelszintjétől jól elkülönülő impulzusként jelenik meg a cél. Az impulzus időadatából pedig már meghatározható a céltárgy radartól mért távolsága: $R = c \cdot \frac{\Delta t}{2}$.

A 4. ábrán nagyítva láthatók a csúcs melletti ún. oldalszirmok. A Barker-kód-moduláció speciális bitsorrendjének köszönhetően az oldalszirmok szintje alacsony korreláció után. A kód bitszámának növelésével az oldalszirm szint tovább csökkenthető.

Az egyszerűség kedvéért az előbbi lépésekben több tényezőt ideálisként vettünk figyelembe. Az 5. ábrán össze-

5. ábra. Jelmaximumok az adótól a célig, és vissza a detekciós küszöbszintekkel (Forrás: a szerzők szerkesztése)



3. táblázat. Jelszint változása az adótól a célig, és vissza*

Adó	$G_p = 10 \cdot \log_{10}(P_t)$	+39 dB
Antenna	G_{tx}	+27 dB
Terjedés (célig)	$L_p = 20 \cdot \log_{10}(\lambda/4\pi R)$	-127 dB
Cél	$G_{rcs} = 10 \cdot \log_{10}(4\pi\sigma/\lambda^2)$	+37 dB
Terjedés (vevőig)	$L_p = 20 \cdot \log_{10}(\lambda/4\pi R)$	-127 dB
Vevő	G_{rx}	+25 dB
Szűrő	G_f	+24 dB
STC	L_{STC}	-18 dB
Integrálás	G_{int}	+15 dB
Jelszint	$S = G_p + G_{tx} + 2 \cdot L_p + G_{rcs} + G_{rx} + G_f + L_{STC} + G_{int}$	-105 dB

* A táblázat a szerzők szerkesztése

foglva így is jól látható a jel maximális szintjének trendje az adótól a célig, és vissza.

Decibel-skálán, a radaregyenlet alapján az egyes tagok összegéből megkapható az elérhető maximális S jelszint (3. táblázat).

Összefoglalva az impulzus-kompressziós radar detektálási folyamatát látható, hogy az impulzuskompresszió több előnnyel is jár:

- Relatív alacsonyabb csúcs adóteljesítmény mellett tesz lehetővé nagyobb maximális detektálási távolságot, hosszabb impulzus-alkalmazhatósága révén.
- Azonos átlagteljesítményű, de kisebb csúcsteljesítményű adó implementálása és alkalmazása gazdaságosabb.
- Az impulzus modulációjával, és így a sávzélesség növelésével, a radar felbontóképesége javul (így hosszabb impulzus is alkalmazható).
- Javul a jel-zaj viszony.
- Javul a radar pontossága, mivel a célpozíció meghatározásának pontossága egyrészt egyenesen arányos a felbontóképeséggel, másrészt fordítva arányos az SNR jel-zaj viszony négyzetgyökével.
- Modulációs eljárásokkal az illetett szűrő autokorrelációs függvénye javul, így az impulzus-kompressziós oldalszirm szint csökkenthető.
- Javul a radar aktív zavarok elleni védelme.

Ahogy az felvázolt radardetektációs folyamatból is látszik, az impulzus-kompresszió megvalósításához azonban összetettebb modulátor, vevő- és jelfeldolgozó rendszer szükséges a radarban.

SER BERENDEZÉS

A MILTECH Zrt. pályázat (GINOP-2.1.7-15-2016-00973) keretében kifejlesztett egy berendezést, amely korszerű radarrendszerek középfrekvenciás, impulzus-kompressziós adójelének előállítását és a visszavert jel feldolgozását végzi el. A berendezés rövid neve: SER (Signal Exciter and Receiver – jelgeneráló és -vevő).

A berendezés kifejlesztésének fő hajtóereje, hogy a régebbi analóg és alacsony szinten digitalizált hardver alapú megoldások költségigénye nagy volt, kompatibilitásuk azonban minimális, amely korlátozta alkalmazhatóságukat.



6. ábra. SER berendezés (Fotó: a szerzők)

Az impulzus-kompressziós jelek előállítása és feldolgozása során alkalmazott analóg SAW (Surface Acoustic Wave – akusztikus felületi hullámú) szűrők megvalósítása költséges és technológiai szempontból nehéz volt, valamint tulajdonságai üzem közben nem voltak változtathatók. A kifejlesztett berendezésben széles tartományban programozható modulációs módok biztosítják az egység általános kompatibilitását, és hatékony használatát. A növekvő interoperabilitási elvárásoknak megfelelően, így az egység egyaránt alkalmazható különböző típusú és hullámhosszúságú radarok modernizálására, és új berendezésekben történő használatra is.

Az elméleti bevezetésben már említettük, hogy a radar jelfeldolgozó rendszerének fő feladata, hogy megtalálja a célpontot a zavarjelek között. E cél érdekében ma már többféle matematikai módszer áll rendelkezésre a különböző típusú zajjelek kiszűréséhez, így az elméleti háttéranyag szerteágazó. A kifejlesztett eszközben alkalmazott legújabb generációs digitális jelfeldolgozó DSP (Digital Signal Processor – digitális jelfeldolgozó), FPGA (Field-Programmable Gate Array – helyszínen programozható kapumátrix) és multiprocessing technológia képes ezen kifinomult matematikai algoritmusok gyors alkalmazására. Speciális alkalmazói igények esetén, szükség szerint további algoritmusokkal is könnyen bővíthető az egység, ezzel is növelve alkalmazhatóságát.

A SER FŐ RÉSZEI

A radarban a SER-egység fő feladata a modulált jelsorozat előállítása a szükséges vezérlőjelekkel együtt az adó szá-

4. táblázat: SER műszaki paraméterek*

Kiadott modulált impulzus szintje	Állítható, > 0 dBm
KF frekvenciatartomány	30 – 490 MHz
Impulzushosszúság	0,5 – 50 μ s
Sávszélesség	Állítható, max. 2 MHz
Analóg/digitális konverzió	16 bit
Dinamikatartomány	> 60 dB
Vezérelhető csillapítás adó ágon	0 – 31,75 dB (0,25 dB lépésként)
Vezérelhető csillapítás vevő ágon	0 – 31,75 dB (0,25 dB lépésként)

* A táblázat a szerzők szerkesztése

mára, valamint a vevőtől származó jelek fogadása és előkészítése jelfeldolgozásra, detektálásra.

A berendezés moduláris hardver és szoftver felépítése növeli az eszköz adaptálhatóságát különböző radartípusokhoz, valamint egyszerűsíti az ellenőrzési és teszt eljárásokat is. A hardveregységeket a MILTECH Zrt. által gyártott kompakt készülékház tartalmazza (6. ábra). A berendezés fő funkcionális részei:

- adójelgeneráló egység,
- integrált középfrekvenciás impulzusmodulációs jel előállító egység,
- órajelgeneráló egység,
- jelfeldolgozó egység,
- jelszűrő egység,
- vezérlőegység,
- adatátviteli interfész és kommunikációs egység,
- tápegység,
- kiegészítő kezelői IT-eszközök és teszt egység.

A SER egység fő paramétereit a 4. táblázat mutatja.

SER – KF JELEK

A berendezés standardizált középfrekvenciás (KF) ki- és bemenetekkel rendelkezik a nagyfrekvenciás radarrészegységek felé (7. ábra), valamint biztosítja a szükséges, megfelelően időzített logikai vezérlőjeleket is a precíz szinkronizáláshoz.

SER-kimentek:

- KF szintű modulált adójel kiadása:
 - I – csatorna,
 - Q – csatorna.
- Időzített adójelvezérlő jelek.
- STC.

SER-bementek:

- KF szintű vevőjel fogadása:
 - I – csatorna,
 - Q – csatorna.
- Tápellátás.

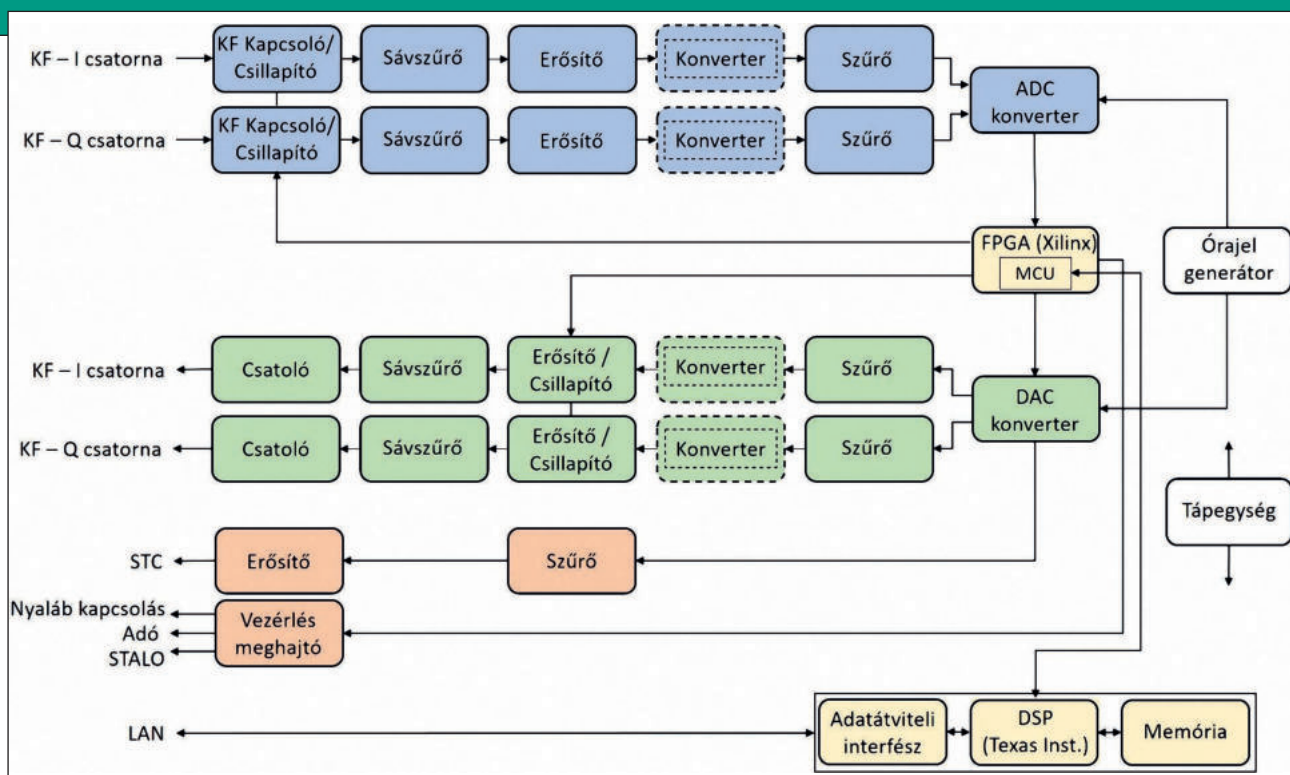
Adatkapcsolat interfész:

- TCP/IP adatkapcsolat a szabványos adatkommunikációhoz.

A berendezés hardvertulajdonságai szoftver eszközökkel állíthatók be, így az egység illesztése a különböző típusú radarokhoz széles körben megvalósítható. A hardver alkalmazásának nagyfokú rugalmasságát éppen a firmware és a kezelői/teszt munkaállomásokon futó szoftverek felhasználói igényekhez történő igazíthatósága, illetve azok parameterezhetősége biztosítja.

A különböző modulációs módoknak megfelelő jelgenerálás szoftverek által meghatározott, ezért később is lehetőség van új modulációs eljárások hatékony megvalósítására. A jelelőállítás memóriába letöltött mintázatok alapján történik, így az adott sávszélességen belül tetszőleges adóimpulzus sugározható ki. A rugalmas, akár indítójelként változtatható frekvenciájú jelek, valamint a modulációs módok szoftverből történő változtathatósága tovább növeli a radar ECCM-képességét (Electronic Counter-Countermeasures – aktív zavarvédelem).

A modulációs módok gyors változtatása és az adás és vétel közötti koherencia biztosítása érdekében közös FPGA⁴ vezérli az adójelelőállító digitális-analóg konvertereket (DAC – Digital Analog Converter) és a vételi analóg-digitális konvertereket (ADC – Analog Digital Converter). Az adóimpulzus modulálásához generált hullámforma az FPGA-n belüli nagy sebességű memóriába kerül. A memória kiolvasását az FPGA-n belüli pontos időzítésű számlá-

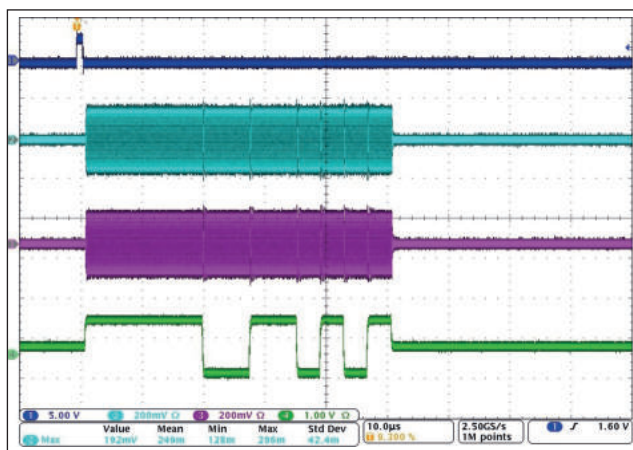


7. ábra. A SER berendezés fő részei (Forrás: a szerzők szerkesztése)

lók biztosítják, amely jelek az IQ rendszerű, 16 bites felbontású digitális-analóg átalakítóra jutnak. Ez a kialakítás teszi lehetővé az időzítések legnagyobb pontosságát, amely a mozgócél kiválasztás alapja (MTI Moving Target Indication – mozgó cél jelölés). Az adó és a vételi oldalon is két-két külön ág található az I és Q csatornák számára. Ha szükséges, ezeken az ágakon második KF-keverés megvalósítása is lehetséges, ezt mutatják a 7. ábrán a szaggatott vonallal jelölt konverterek.

Impulzus-kompresszióhoz először az adó és vételi ágak jeleinek gyors Fourier-transzformációját⁵ (FFT – Fast Fourier Transformation) végzi el az egység. Az adójel komplex konjugálása után, a komplex multiplexer elvégzi az adó és vevő jelek FFT spektrumainak komplex összeszorozását. Az így kapott jel inverz Fourier-transzformációjával (IFFT – Inverse Fourier Transformation) visszaalakítható frekvenciatartományból időtartományba a korrelált jel. A jel maximális szintje és nemkívánatos oldalszirmai további súlyozási, szűrő ablak algoritmusokkal állíthatók.

8. ábra. 13 bites Barker-kód jellel (zöld) modulált impulzus az I és Q csatornákon (türkiz és lila) az indítójellel (kék) (Forrás: a szerzők szerkesztése)

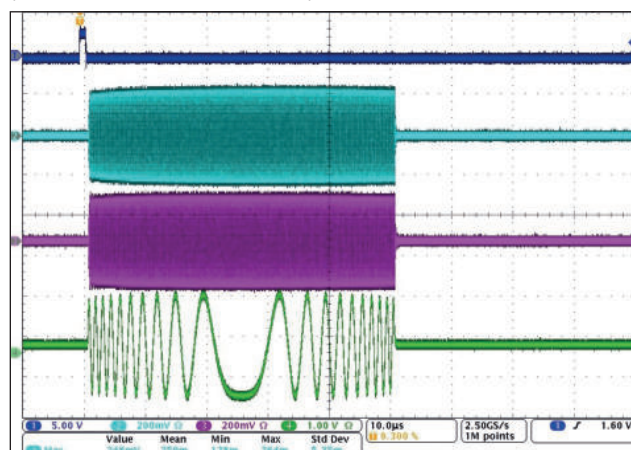


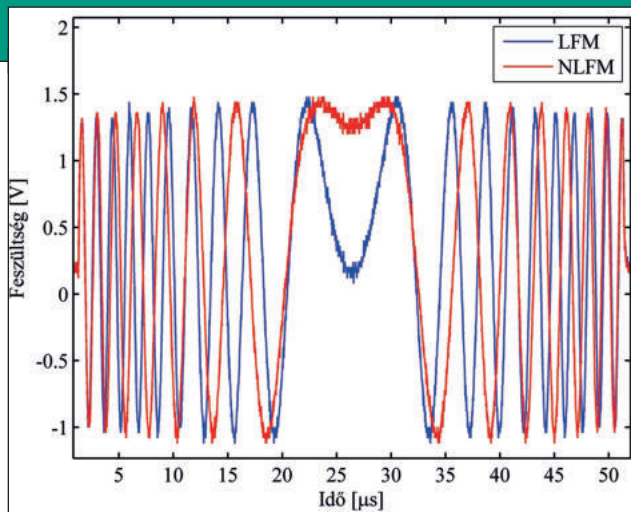
A pályázat keretében a szakemberek a SER-egység önálló tesztelését is elvégezték, szintén MILTECH fejlesztésű szoftveres kiértékelővel támogatva [6]. A 8. és 9. ábrákon látható egy 13-bites Barker-kód modulált jel és egy 2 MHz-es NLFM (nonlinear frequency modulation) modulált jel az SER egység oszcilloszkópos teszteléséről. Az ábrákon fentről lefelé láthatók: az indítójel (kék), az I és Q csatorna modulált jelei (türkiz, lila), valamint a moduláló jel (zöld). A 10. ábra pedig a SER 1,5 MHz sávszélességű LFM (linear frequency modulation) (kék) és NLFM (piros) hullámformáinak összehasonlítását mutatja a mérési eredményeket kiértékelő program segítségével.

SER – STC

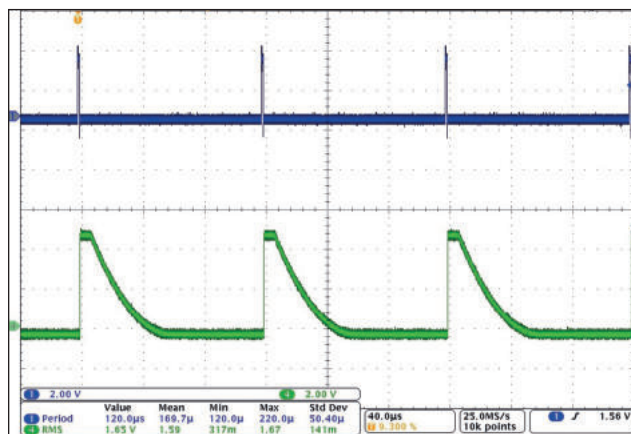
A vevő nyereségvezérlésére az STC-eljárás gyakran használt módszer a radarokban. A SER-egységben DAC konverzió után szintén az FPGA állítja elő az STC-jelet, amely

9. ábra. 2 MHz NLFM jellel (zöld) modulált impulzus az I és Q csatornákon (türkiz és lila) az indítójellel (kék) (Forrás: a szerzők szerkesztése)





10. ábra. A SER 1,5 MHz sávszélességű LFM (kék) és NLFM (piros) hullámformái (Forrás: a szerzők szerkesztése)



11. ábra. A SER STC-jele gyors időbeli lefutással (zöld) az impulzusok között (kék) (Forrás: a szerzők szerkesztése)

képes vezérelni a vevő LNA (Low Noise Amplifier – kis zajú erősítő) előtti csillapítást, ezzel megakadályozva a vevőrendszer túlvezérlést.

A SER STC 3 üzemmódban képes működni:

- fix csillapítás,
- hagyományos idő szerint változó csillapítás,
- adaptív.

Az STC-paraméterek, mint pl. a csillapítás értéke, csillapítási mód, az időbeli lefutás jellege szintén szoftveresen állíthatók, ezzel is elősegítve a radarérzékenység könnyű beállítását a megfelelő szintre. A 11. ábrán látható SER-en mért STC-jel (zöld) gyors időbeli lefutásra állítva az impulzusok között (kék).

ÖSSZEGRZÉS

Az impulzus-kompresszió alkalmazása több előnnyel is jár, ehhez azonban összetettebb adójelmodulátor, vevő- és jelfeldolgozó rendszer szükséges a radarban. A MILTECH Zrt. kompakt SER berendezése elvégzi a radar középfrekvenciás, impulzus-kompressziós adójelének előállítását és a visszavert jel feldolgozását. A SER képes komplex algoritmusok, szűrőmetódusok, modulációs eljárások és matematikai modellek gyakorlati megvalósítására. A moduláris felépítésű, grafikus felhasználói felületről szoftveresen vezérelhető SER nagyfokú kompatibilitást, rugalmas méretezhetőséget és többféle működési módot biztosít. Ez lehetővé teszi az eszköz alkalmazhatóságát különböző típusú és hullámhosszúságú radarokban. A SER egyaránt integrálható új és modernizált rendszerekbe, elősegítve a korábbi (analóg és digitális üzemű) radarok modernizációját

át a legújabb, gyors digitális technológiák alkalmazásával. A SER által nyújtott nagyobb számítási kapacitás, pontosabb eredményeket, új funkciókat és megbízhatóbb működést eredményez a radaroknál. A készülék fejlett zajszűrőképességgel rendelkezik, és jobb felderítési paraméterek elérését teszi lehetővé a felhasználó számára.

A GINOP 2.1.7-15 „Radarberendezések középfrekvenciás impulzus-kompressziós adójel generáló és vevő-jelfeldolgozó rendszerének fejlesztése új és modernizált rendszerek számára” című projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával valósult meg.

A jelen tanulmány, a fenti projekt „Prototípus, termék-, technológia- és szolgáltatásfejlesztés” nevű kiemelt kutatási területéhez kapcsolódóan készült.

HIVATKOZOTT IRODALOM

- [1] Barton, D.K. – Leonov, S.A., *Radar technology encyclopedia*, Boston: Artech House, 1998, 366 p., 378 p.;
- [2] MILTECH Radar Performance Analysis szoftver, fejlesztő: Rembeczki Szabolcs, MILTECH Zrt. (2021);
- [3] Marcum, J.I. – Swerling, P.; “Studies of Target Detection by Pulsed Radar.” *IRE Transactions Volume IT-6*, No. 2 dtd (April 1960);
- [4] Balajti István, „Hatásos radarcéltárgy-keresztmetszet növelési lehetőségek.” *Haditechnika* 51., 5. sz. (2017): 12–15. p. <https://doi.org/10.23713/HT.51.5.03>;
- [5] Barker, R. H., “Group Synchronizing of Binary Digital Systems. *Communication Theory*.” London: Butterworth, 1953: 273–287. p.;
- [6] Bárány Dániel, Rembeczki Szabolcs, „Átvételi teszt vizsgálatok jegyzőkönyv”, MILTECH Zrt. SER projekt dokumentum (2018): 8–66.

JEGYZETEK

- 1 Swerling, Peter (1929–2000) a 20. század egyik legbefolyásosabb radarelméleti szakembere. Nevéhez kötődik a statisztikailag „fluktuáló cél” szórású modellek osztályozása, amelyet a RAND Corporationnál az 1950-es évek elején fejlesztett ki a pulzáló radarrendszerek teljesítményének jellemzésére. Tudományos munkájával a műholdak és rakéták pályájának optimális becsléséhez is hozzájárult, előre jelezve a Kálmán-szűrő fejlődését (a szerk.).
- 2 A kommunikációs technológiában a Barker-kód vagy Barker-szekvencia a digitális értékek véges szekvenciája, ideális autokorrelációs tulajdonsággal. Szinkronizáló mintaként használják az adó- és a vevő között. Barker, Ronald Hugh (1915–2015) író fizikus, a digitális szinkronizáláshoz szükséges Barker-kód feltalálója 1952-ben a Barker 7–13 hosszúságú jelszekvenciát találta legmegfelelőbbnek, amely szekvenciákat napjainkig a legtöbb adatátvitel során (radar, mobiltelefon-technológia, telemetria, digitális beszéd, ultrahangos képalkotás, GPS, WiFi) alkalmazzák (a szerk.).
- 3 A konvolúció egy olyan matematikai művelet, amit függvényeken és disztribúciókon is értelmeznek. A konvolúciót széles körben alkalmazzák a valószínűségi számításban, a Fourier-sorok és a parciális differenciálegyenletek világában. Segítségével gyorsabban lehet számokat összeszorozni és egyes parciális differenciálegyenleteket megoldani (a szerk.).
- 4 FPGA (field-programmable gate array): integrált áramkör, amelyet a vevő vagy a tervező konfigurál a gyártás után – erre utal a „terepen programozható” kifejezés.
- 5 Egy időben változó jel előállítható különböző frekvenciájú, fázisú és amplitúdójú jelek összegeként. A Fourier-transzformáció az a művelet, amely egy adott jelhez megadja ezt a felbontást. A Fourier-transzformáció inverze szolgál arra, hogy a frekvencia spektrumból (frekvenciartomány) megadja az időfüggő jelet (időtartomány) (a szerk.).



1. ábra. MaxxPro Dash és M-ATV harcjárművek a Mazar-e Sharif bázishoz közeli lőtérén az MH MTCS-3 állományából, 2014-ben (Fotó: Ocskay István)

Ocskay István* – Vágner Szabolcs**

Gidrán – egy növelt aknavédelemmel rendelkező harcjármű megjelenése a Magyar Honvédségben

I. rész

A Magyar Honvédség (továbbiakban: MH) a Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program (továbbiakban: Zrínyi HHP) keretében, a NATO-elvárásoknak megfelelően, egy könnyű-, egy közepes-, és egy nehézdandár-képesség megteremtését tűzte ki célul. Ennek érdekében már 2018-tól megkezdődtek a haderőfejlesztést, benne komplett képességek megteremtését célzó tárgyalások, majd aláírták a harckocsi- és tüzérképességet megteremtő, illetve 2020-ban a lánctalpas harcjárművek beszerzéséhez kapcsolódó szerződéseket. Azóta olyan eszközök beszerzésére is igény mutatkozott, amelyek nem közvetlenül harcoló, hanem harcbiztosító és harctámogató feladatokat látnak el, hiszen ezek nélkül nem lehet teljes egyik képesség megalakítása sem. Ennek megfelelően a fent említett beszerzések mellett, már 2018 októberében aláírták a nö-

velt aknavédelemmel rendelkező harcjárművek kategóriájába tartozó eszközök beszerzését biztosító szerződést a Nurol Makina A.Ş. török vállalattal. Tanulmányunk célja az MRAP¹ harcjármű kategória, valamint a Nurol török vállalat Gidrán harcjármű tulajdonságainak, technikai paramétereinek bemutatása. Az eszközökből 2021. február 11-én megérkezett az első 10 db, amelyeket a Magyar Honvédség állományba vett.

A NÖVELT AKNAVÉDELEMMEL RENDELKEZŐ JÁRMŰVEK MEGJELENÉSE

Az IED²-típusú robbanóeszközök tömeges alkalmazására a 2003-as iraki hadművelet során került sor először. Ez a módszer váratlanul érte az alkalmazásban érintett koalíciós

ÖSSZEFOGLALÁS: A növelt aknavédelemmel rendelkező harcjárművek tömeges megjelenésére a modern hadszíntereken az ezredfordulót megelőző években került sor. Ezek azok a speciális kialakítású, a harcjárművek egyik alkategóriájába sorolt eszközök, amelyek alkalmazásával jelentős mértékben csökkenthetők voltak az improvizált robbanó eszközök által okozott harctéri veszteségek a hagyományos kialakítású harcjárművekben és a kezelőszemélyzetben. A Magyar Honvédség is rendelkezett ilyen típusú eszközökkel, de a Gidrán hadrendbe állításával ez a harcjárműkategória jelentősebb mértékben lesz jelen a honvédség eszközpalalettáján.

KULCSSZAVAK: MRAP, Gidrán, Magyar Honvédség, Nurol, Ejder Yalçin, Zrínyi HHP

ABSTRACT: The mass appearance of mine resistant ambush protected vehicles on the modern battlefields took part a few years before the millennium. These are specially designed vehicles, classified in one subcategory of combat vehicles that have been used with success to significantly reduce battlefield losses previously caused by improvised explosive devices in conventionally designed combat vehicles. The Hungarian Defence Forces also have had this type of vehicles, but with the appearance of GIDRÁN, this category of combat vehicles will also be represented in a larger number on the HDF's equipment range.

KEY WORDS: MRAP, Gidrán, Hungarian Defence Forces, NUROL, Ejder Yalçin, Zrínyi HHP

* Ezredes, MH Modernizációs Intézet, parancsnokhelyettes, K+F igazgató, NKE HHK Katonai Műszaki Doktori Iskola, doktorandusz.

ORCID: 0000-0003-0279-8215

** Őrnagy, MHP Haderőtervezési Csoportfőnökség, Szárazföldi Hadfelszerelési Rendszerek Fejlesztési Főnökség, főtiszt. ORCID: 0000-0002-8889-3936



erőket, akik ekkor még, a korábbi tapasztalatok és elért eredmények alapján, jellemzően a HMMWV³ terepjáró gépkocsik különböző variációit alkalmazták tömeges számban a műveleti területen. Az IED-k alakja, mérete, kialakítása és ennek következtében azok hatása folyamatosan változott, és alkalmazkodott a hadműveleti területen alkalmazott járművek technikai, valamint a rajtuk hordozott lőfegyverek ballisztikai jellemzőikhez. Ez a harcászati módszer jellemzően az élőerőt pusztító hatás – azaz az áldozatok számának – növekedésében jelentkezett. Sokáig az ellenük történő védekezés kimerült a ballisztikai és a repeszek elleni védelem növelésében, amely a járművek jelentős tömegnövekedését eredményezte. Ezek a próbálkozások azonban nagyon gyorsan elérték a járművek technikai határait, amelyek jellemzően a megnövekedett tömeg miatti stabilitásvesztésben, a jármű fajlagos teljesítményének csökkenésében, az erőátviteli rendszer túlterhelésében jelentkeztek. Látványos példa volt erre a HMMWV-k felpáncélozása, amely egy idő után már a saját alkalmazóit is veszélyeztette a súlypont megemelkedése, és az ezáltal elvesztett stabilitás miatt.

A szükségszerű változás jellegű járművek megjelenését eredményezte, az afrikai kontinensről érkezett. Az aknamezők leküzdése természetesen nem újkeletű probléma a harcoló felek között, akár a II. világháború csatáit, akár az azt követő konfliktusokat vizsgáljuk. A főleg a szegényebb hadseregek, vagy ellenálló csoportok által nagy mennyiségben alkalmazott járművek elleni aknásításokra Rhodésiában került sor, illetve a Dél-afrikai Hadsereg (SADF)⁴ ellen a namíbiai, zambiai és angolai határháborúkban, 1960 és 1990 között. A folyamatosan elaknásított területen történő hadviselés olyan követelményt támasztott a dél-afrikai fejlesztőkkel szemben, amelyre az akkori megoldást a jármű alján „V” alakú, monocoque⁵ alváz-kialakítással és speciális futóművel rendelkező, a Land Systems OMC vállalat által gyártott, páncélozott szállító járművek jelentették. [1] Ezeknek a járműveknek az alkalmazása jelentősen növelte a járműben tartózkodó állomány túlélési esélyeit, illetve jelentősen csökkentette a sérülések mértékét aknára futás esetén. Az akkor még csak MPV-nek⁶ nevezett járműveknek az első képviselői 1980-ban jelentek meg, ilyen volt a Casspir, a Mamba, vagy az ebből tovább fejlesztett RG-31 Nyala. A járművek beváltották a hozzájuk fűzött reményeket, amit mi sem bizonyít jobban, hogy több mint 22 ország rendszeresítette ezeket az eszközöket, mi több az ENSZ, különféle béketeremtő missziói során éveken keresztül sikeresen alkalmazta ezeket a harcjárműveket. Egy ilyen

2. ábra. Az MRAP járművek egyik elődváltozata, a Casspir, az ENSZ színeiben [7]



korai, az ENSZ részére felkészített Casspir változat látható a 2. ábrán.

Ahogy az Irakban harcoló csapatok ellen alkalmazott improvizált robbanóeszközök által okozott halálozások aránya ugrásszerűen megnőtt, az amerikai fejlesztők elkezdtek tanulmányozni az új igények teljesítésének lehetőségeit, és elsőként az amerikai tengerészgyalogság (US Marine Corps) igényei alapján, jellemzően műszaki és tűzszerész feladatokra, megkezdték az első HEV⁷ járművek tervezését. A tervek alapjául a Casspir MPV szolgált, de annak magasságát túlzónak ítélték a tervezők, ezért azt lecsökkentve – és a gyors kivitelezhetőség miatt – 2004-ben, a civil szférában megvásárolható fő darabok alkalmazásával gyártották le az első 54 db eszközt. Hozzá kell tenni, hogy a Brit Királyi Műszaki⁸ csapatok már két évvel korábban beszereztek a Balkánon diszlokáló alakulataik számára Tempest PPV⁹ járműveket a brit Supacat vállalat-tól. [2]

Az első igazi, kifejezetten katonai alapokra épülő aknavédett járműveket a Force Protection Industries Inc. gyártotta le Cougar néven. Az amerikai hadsereg is rendelt még 2003-ban 9 db ilyen eszközt, alapvetően a Balkánon az RG-31 Charger¹⁰-ekkel nyert tapasztalatok alapján, de mindkét haderőnem csak tűzszerész és aknamentesítési feladatokra alkalmazta az eszközeit. Először az Egyesült Királyság Hadseregében jelent meg az az elképzelés, hogy ezeket az eszközöket ne csak ezekre a speciális műszaki feladatokra, hanem lövészkatonák szállítására is alkalmazzák. Ezek az első, a gyalogság védett szállítását biztosító harcjárművek a Cougarok bázisán kialakított Mastiff 6x6 és a Ridgeback 4x4 hajtásképletű járművek voltak, amelyek alapvetően járőrözési és személyszállítási feladatokra készültek (3. ábra).

Az Irakban harcoló amerikai csapatok – a brit példán felbuzdulva – egyre több MRAP eszközre nyújtottak be igényt, így azok mennyisége 2006-ra már elérte a 1200 körüli darabszámot. Ennek java része az RG-31-es típus volt, amelyet az amerikai földrészen a General Dynamics Land Systems Canada, a Land Systems OMC licence alapján gyártott. Az RG-33 típus szintén az OMC által tervezett jármű volt, de ezt már a Land Systems OMC későbbi megvásárlója, a BAE Ground Systems gyártotta az Egyesült Államokban. Ezekon felül megjelent az International Navistar gyártásában a később ikonikussá vált MaxxPro védett jármű is, amely – eltérően a korábbiaktól –, a Mamba terveivel harmonizálva, egy hagyományos teherautóra épített, védett felépítményt, ún. kapszulát hordozott. Az amerikai cég így gyorsan, az elvárásoknak megfelelően, a polgári termelésük kismértékű átállításával tudták megoldani a

3. ábra. Brit Mastif 6x6 hajtásképletű MRAP harcjárművek oszlopmenete [8]





4. ábra. Az RG-33 6x6 hajtásképletű MRAP egy különleges, mentő-vontató kialakítású változata [9]

nagyszámú igény kielégítését. Az összes haderőnem „természetesen” mind a saját kívánalmainak megfelelően gyártotta le a növelt aknavédelemmel rendelkező járműveit, az Amerikai Egyesült Államok Haditengerészete (US Navy) és Tengerészgyalogsága (US Marine Corps) az RG-31-est, a SOCOM¹¹ és a légierő (US Air Force) az RG-33-ast, míg a szárazföldi haderőnem (US Army) a MaxxPro-t választotta hozzá kiindulási alpnak. 2007-re az iraki hadszíntéren már több mint 2800 db különféle kialakítású és rendeltetésű MRAP kategóriájú eszköz tevékenykedett a koalíció haderejében, közöttük a 4. ábrán látható, műszaki-mentő-javító feladatú RG-33 ARV is. [3]

Az Irakban alkalmazott eszközök közül a legtöbb az afganisztáni hegyvidéki terepre már nem, vagy csak jelentős korlátozásokkal volt igénybe vehető. Ezek a korlátozások jellemzően a merev futóművel rendelkező, hagyományos teherautó alapjaira épített MaxxPro járművekre voltak jellemzők. Ezekre az eszközökre először független kerékfelfüggesztést biztosító szerelőkittet terveztek, amelyeket hadszíntéri körülmények között is, a jármű többi rendszereinek megbontása nélkül át lehetett szerelni. Majd megkezdődött ezen eszközök részleges kivonása és helyettesítése a M-ATV¹² járművekkel, amelyek sokkal jobb terepjáró képességgel, alacsonyabb súlyponttal rendelkeztek, és megnövelt képességeikkel jobban kezelték a hegyvidéki terep adta kihívásokat.

Az M1224 MaxxPro jármű az International WorkStar 7000 teherautó alvázára épített, V alakú haspáncéllal rendelkező, csavarozott páncéllemezekből készült védett kapszulát hordoz, amelyben maximum 7 fő részére biztosít szállítási lehetőséget. A teherautó gyártósoron épülő MaxxProkból több mint 12 000 példányt gyártottak, amelyek egy részét – az aránytalanul magas hazaszállítási költségek miatt – a feladat végeztével a helyszínen megsemmisítették, illetve egy részét közszolgálati célokra megpályáztattak az Amerikai Egyesült Államok területén. Az első MaxxPro járművek mindegyikét még az International MaxxForce D9.316 négyütemű, turbódízelmotor hajtotta, amelynek teljesítménye 243 kW (330 LE) volt, de a Pro és a legutolsó verzióban gyártott Dash változatokban már 276 kW (375 LE) teljesítményű D10 típusú motorokkal szerelték az eszközöket. A járművek automatikus sebességváltója 5 fokozatú, amely típust az Allison gyár 3000-es szériájából választották, a hozzá kapcsolt kéte sebességű osztóművel kiegészítve. Az első szériák futóműveit még merevhidás, félelliptikus laprugókötegekkel szerelték,



5. ábra. Egy szokatlan színvilágú, a dél-koreai hadsereg terepszíneit viselő MaxxPro Dash DXM harcjármű [10]

amelyeket később leváltott a független felfüggesztésű, csavarrugós, Axle-Tech gyártmányú futómű. A legutolsó gyártású eszközökbe azonban már a Diamond Xtream Mobility felfüggesztését szerelték, amely nagyobb manőverezőképességet, jobb úttartást biztosított a járműnek, és ezzel csökkentette a hegyvidéki környezetben gyakorta előforduló borulásos baleseteket is. Ezeknek a járműveknek a típusa MaxxPro Dash DXM volt.

A MaxxPronak készült egy MaxxPro XL kivitelű változata is, amelyből csak nagyon keveset gyártottak. Ez az eszköz háromtengelyes, 10 fő szállítására képes, és a tömege a 4x4 kerékképletű változatok 13 tonnás tömegéhez képest, teljes feltöltéssel és lőszer-javadalmazással elérheti a 15 tonnát is.

A MaxxPro járművek fő fegyverzete egy OGPK¹³ manuálisan vezérelt, elektromos forgatású, toronyba épített 7,62 mm űrméretű géppuska, vagy egy 12,7 mm űrméretű nehéz géppuska. A torony forgatása elektromosan, vagy kézzel is történhet. A MaxxPro különféle változataiból több mint 12 000 db épült, amelyből jelenleg még 3000 különféle kialakítású példány áll rendszerben több mint 20 ország haderejében, és az Egyesült Államok rendvédelmi szervezeteinél. A harcjárműtípusból sebesültszállító és mentővontató változat is készült.

A MaxxProval párhuzamosan megjelent a hadszíntereken a sokkal jobb manőverező képességgel rendelkező M-ATV is, amelyet az US Army tenderére az Oshkosh vállalat gyártott. A nyertes M1240 típusú M-ATV-ből 9000 db-ot gyártottak az amerikai haderőnek kérésére. A megrendelt járművek – amelyeket 2009 szeptemberétől folyamatosan szállított a gyár –, többségükben az afganisztáni műveleti területre kerültek. [4]

A kizárólag 4x4 kerékképlettel gyártott, 15 tonnás megengedett legnagyobb tömegű járművet a Caterpillar vállalat soros, hathengeres, C7 típusú turbódízel motorja hajtja 272 kW (370 LE) teljesítménnyel. A jármű automata sebességváltóját ehhez a típushoz is az Allison vállalat szállítja, de már annak 3500-as szériáját építik be az eszközökbe. az osztóművön keresztül meghajtott független felfüggesztések érdekessége, hogy azok pár csavar oldásával leszerelhetők és kompatibilisek egymással. Ez azt jelenti, hogy az első futómű helyére beépíthető a hátsó futómű, és fordítva is, ilyenkor a kormányzáshoz szükséges irányítókarokat, csuklókat a futóművet tartó kerethez rögzítik. Ez a megoldás egyszerűsíti a logisztikai kiszolgálást, csökkenti a raktári készletet.

Az M-ATV fegyverzetét ugyanaz az OGPK rendszerű elektromos forgatású, manuálisan vezérelhető torony adja,





6. ábra. Az M230LF 30×113 mm-es löszert tüzelő géppágyúval szerelt M-ATV, tüzelés közben [11]



7. ábra. MB G-270 BA10 terepjárók felpáncélozása Kabulban, az MH Könnyű Gyalog Századnál (Fotó: Ocskay István)

amely a MaxxPro esetében is használatban volt, de ezen felül kialakították az M153 CROWN¹⁴ távirányított fegyver-állvánnyal szerelt változatát is. Az így készült járművek kódja M1277-re változott. 2015-ben, a nagyobb tűzerő és

pusztítókéesség biztosítása érdekében az M-ATV-k egy részére az M230LF 30×113 mm űrméretű ún. chain-gun rendszerű géppágyút szerelték fel, amely az AH-64 Apache harci helikopter fedélzeti fegyvere is. Egy ilyen felszereltségű M-ATV látható a 6. ábrán. [5]

Az iraki konfliktusban Magyarország NATO-vállalásként, 2003-ban és 2004-ben az MH Szállító Zászlóaljjal vett részt. Akkoriban az MH állománya még nem rendelkezett MRAP-jellegű járművekkel, a zászlóalj kötelékébe az akkor elérhető legjobb páncélozott eszközöket, a BTR-80A harc-járműveket bocsátották rendelkezésre.

Az afganisztáni műveletekben legelőször részt vevő alakulatunk az MH Könnyű Gyalog Század (MH KGYSZ), amely Kabulba települt az éppen akkor a GBP¹⁵ keretében beszerzett 27 db G-270 BA10 típusú páncélvédettség nélküli, ponyvás terepjáró személygépkocsikkal. A páncélozott eszközök alkalmazásának szükségessége hamar nyilvánvalóvá vált, de elérhető eszközök hiányában maradt a meglévő eszközök utólagos páncélvédelemmel történő ellátása. Ez egy sor olyan problémát vetett fel, mint pl. a motor, az erőátviteli berendezések, a futómű és a fékek fokozott túlterhelése, amelyek gyakoribb meghibásodásokat generáltak, leterhelve a javító állományt, és csökkentve a folyamatosan rendelkezésre álló eszközök mennyiségét. A 7. ábrán látható, hogy a tábori körülmények között, hogyan történt a G-270 típusú Mercedes terepjáró személygépkocsik utólagos ballisztikai védőelemekkel, ajtókkal, szélvédővel történő felszerelése.

A kabuli alakulat Pol-e Khumriba költözését követően az amerikai csapatok 27 db páncélozott HMMWV M1114 járművet adtak át az MH KGySz-nek. (8. ábra).

Az MH Tartományi Újjáépítő Csoport mandátumának lejártá előtt, a többi hadműveleti területen tevékenykedő alakulathoz hasonlóan, magyar felségjelű MaxxPro Dash, majd 2014-től a M-ATV járművek is megjelentek. Az Afganisztánban tevékenykedő különféle rendeltetésű magyar csoportokat, kontingenseket, mint pl. az MH Műveleti tanácsadó csoportokat (továbbiakban: MH MTCS) is ilyen eszközökkel szerelték fel, egészen 2020. szeptember 12-ig, amikor a hadszíntérré biztosított eszközök közül az utolsó négy MaxxPro Dash harcjárművet is végleg visszaadták az amerikaiaknak. Egy vegyes járműállományú kötelék látható az 1. ábrán is.

Annak érdekében, hogy a hadműveleti területre érkező katonáink ne csak költséges külföldi képzések keretében sajátíthassák el az eszközök kezelését és alkalmazását, valamint csökkenthető legyen a hadműveleti területen ki-

8. ábra. Két magyar felségjelű HMMWV M1114 páncélozott terepjáró harcjármű az MH PRT állományából, Afganisztán hegyei között (Fotó: Ocskay István)





9. ábra. A Magyar Honvédségben rendszerbe állított HMMWV M1165A1 típusú páncélozott harcjárművek a szolnoki telephelyen (Fotó: Ocskay István)

képzéssel eltöltendő idő, 2011-ben az Amerikai Egyesült Államok Kongresszusa – a NATO tagországok számára működtetett program keretében – 14 db HMMWV M1165A1 B3 páncéllétesítéssel felszerelt, páncélozott harcjárművet adott át térítésmentesen a Magyar Honvédségnek. Az eszközök átadásának feltételeként a felkészítésekben és misszióban is kiemelt szerepet játszó MH 34. Bercsényi László Különleges Műveleti Zászlóalj állományában történő felhasználást határozták meg, az éves gyakoriságú amerikai ellenőrzés kritériuma mellett. Az eszközök beszállítását követően sor került a torony felépítményezésére, majd a 2014-ben végrehajtott csapatpróbát követően a harcjárműveket az MH rendszeresítette, majd rendszerbe állította, amelyek jelenleg is az MH 2. vitéz Bertalan Árpád Különleges Rendeltetésű Dandár állományában vannak alkalmazásban Szolnokon.

2013 szeptemberében, az Egyesült Államok Haderejének Európai Parancsnokságától ideiglenesen 12 db MaxxPro Plus növelt aknavédelemmel rendelkező jármű érkezett az MH Bakony Harckiképző Központ (továbbiakban: MH BHK) állományába. Használatuk után az eszközök 2016-tól végleges átvételre kerültek, és egészen 2020-ig alkalmazásban voltak, de néhány hónapos kiképzésen fe-



11. ábra. Az MH 1. HTHE állományában lévő Cougar 4x4 hajtásképletű MRAP jármű [12]

lül alkalmazásra, vagy hazai „harcoló” alakulat állományába történő átadásra nem kerültek. Technikai kiszolgálásuk a rendszertelen alkatrészellátás miatt nehézkes és drága volt, valamint a hadművelleti területen történő csökkent alkalmazás miatt is 2020-ban kivonásra, hadművelleti tartalékba kerültek. Az MH BHK „0” ponti telephelyén lévő harcjárművek igénybevétel előtti kiszolgálását mutatja a 10. ábra.

Szerencsésebben alakult az első hazai beszerzésű, növelt aknavédelemmel rendelkező tűzszerész járművek sorsa, mert az a 3 db Cougar típusú 4x4 hajtásképletű harcjármű¹⁶, amelyet még 2009-ben vásárolt az MH, többéves afganisztáni kint tartózkodást követően, jelenleg is az MH 1. Hadihajós és Tűzszerész Ezred állományában szolgál. A harcjármű rendeltetése a tűzszerész szaktevékenység támogatása, valamint az ehhez szükséges páncélvédett, nehéz terepen is alkalmazható szállítóképesség biztosítása (11. ábra).

A lajstrom alapján, a Cougar 4x4 MRAP harcjárművek össztömege 17 237 kg, ebből a hasznos teherbírás 2270 kg. A jármű motorja egy Caterpillar C7FMM, kifejezetten katonai igénybevételre átalakított, hathengeres, soros elrendezésű, közös nyomócsöves dízelmotor. A motor a maximális 244 kW-os (330 LE-s) teljesítményét 2400 1/min fordulattal

10. ábra. MaxxPro Plus harcjárművek az MH BHK „0” ponti telephelyén (Fotó: Ocskay István)



számon, míg az 1166 Nm-es nyomaték maximumot 1440 1/min fordulatszámon adja le. A motorból a forgatónyomaték az Allison 3500 SP típusú, 5 fokozatú sebességváltón és a Cushman 315 típusú osztóművön keresztül jut el a tengelyekhez. A Marmon-Herrington MTL-22HM első és az R22 hátsó tengelyek beszállítója a Rába Futómű Kft., amely már a 2000-es évek elejétől beszállítója a Kentucky állami székhelyű, több mint 150 éves amerikai vállalatnak. A keréktárcsákra Michelin XZL 395/85 R 20 gumibroncsokat szerelnek fel. A járműben utazók kényelmének biztosítása érdekében 2 db Mobile Climate Controls gyártmányú légkondicionáló berendezést építenek be, amelyek külön-külön szállítják a szűrt, temperált levegőt a vezetőfülkébe, illetve a küzdőtérbe. A jármű hatótávolsága 675 km, gázlóképesége 1 m. A jármű küzdőtérének ballisztikai és akna elleni védettsége STANAG 4569 Level 3 szintnek felel meg.

A növelt aknavédelemmel rendelkező harcjárművek műveleti területi alkalmazásával nyert tapasztalataink abba az irányba befolyásolták a döntéshozókat és a katonai vezetőket, hogy a 2017-ben indult Zrínyi HHP egyik beszerzendő eszközcsoportjába felvegyék az ilyen tulajdonságokkal rendelkező járművek beszerzését. Számos sajtóhírral ellentétben, ezek az eszközök nem a BTR-80 kerekcsere páncélozott harcjárművek és a BTR-80A kerekcsere gyalogsági harcjárműveket hivatottak pótolni, hanem egy új harcjármű fajtát megjelenését fogják képviselni az MH eszközpalletján.

A TÖRÖK VONAL

A NATO-tag Törökország, hazánkhoz hasonlóan több hadszíntéren folyó műveletben is részt vesz, így a saját tapasztalatai alapján haderejét¹⁷ – amelyet a szárazföldi hadsereg, a haditengerészet és a légiereő alkot –, illetve békében a Belügyminisztérium alá tartozó csendőrséget¹⁸ és a parti őrséget¹⁹ szükséges növelt aknavédelemmel rendelkező, lehetőleg hazai gyártású járművekkel ellátni. Erre a feladatra a török hadiipar teljes mértékben alkalmas és készen is állt, és a haderőnemektől beérkező igényeknek megfelelően megkezdte ezen eszközök tömeges gyártását. A kerekcsere, növelt aknavédelemmel rendelkező harcjárművek a terrorista fenyegetettség kezelését rendvédelmi szervek eszközparkjában is megjelent.

A török haderő által végzett elemzések megállapították, hogy az elmúlt időszakban jelentkező hadműveleti követelményváltozások miatt szükségszerűen jelentkezett a dinamikus bevethető gépesített, páncélvédelemmel ellátott egységek alkalmazásának kényszere. E harcjárművek alapja is a mozgékony, a páncélvédelem és a tűzerő hármasa köré csoportosul, kiegészülve a logisztikai biztosítás megszervezésével, amely nélkül elképzelhetetlen lenne egy korszerű harc megvívása. Ezek mellett továbbra is megmarad a NATO szövetségi feladatokból eredő béketámogató, béke kikényszerítő feladatokban való aktív részvétel igénye is. Az elmúlt, majdnem három évtized alatt világhosszra vált, hogy a növelt aknavédelemmel rendelkező harcjárművek, a páncélautók modernkori utódaiként a béketámogató műveletekre legalkalmasabb eszközök. Logisztikai szempontból ezek az eszközök majd 50%-kal költséghatékonyabban üzemeltethetők, mint a hasonló feladatrendszerre optimalizált lánctalpas eszközök, és a teherautókhoz nagyban hasonló kialakításuk miatt, kiszolgálásukra is könnyebb a polgári életből szerelőköt átképezni.

Bár a feladatrendszerüknek legjobban megfelelő kialakításuk miatt a hagyományos gyalogsági harcjárművek, illet-



12. ábra. A Nurol Makina modern ankarai gyára madártávlatból [13]

ve a páncélozott szállító harcjárművek funkcióit nem helyettesíthetik, olyan feladat-specifikus tevékenységek végrehajtására azonban jobban alkalmasak, mint a páncéltörő rakétahordozó, a kis távolságú légvédelmi rakétaindító, a tűzérfigyelő, a sebesült kihordó, vagy akár a tüzserész feladatokra optimalizált eszközök. A török hadiipar, megismerve ezeket a hadműveleti igényeket, a megfelelő eszközök széles választékával reagált, amelyek közül – a hazai beszerzés miatt – a tanulmány a Nurol Makina ve Sanayi A.Ş. vállalat eszközeivel foglalkozik részletesebben.

A Nurol²⁰ magántulajdonban lévő vállalatot Eyüp Sabri Çarmıklı közel száz évvel ezelőtt építőipari és felújítási cékként alapította. Az elmúlt 50 évben a vállalat nemcsak az építőipar területén, hanem a nyersanyagbányászat, az energetika, a védelmi ipar, sőt a turisztika és a pénzügyi szektor területén is vezető pozíciót szerzett. A Nurol cégcsoporthoz jelenleg több mint 35 cég, vállalat és leányvállalat tartozik. A belföldi vásárlókon kívül, főleg a védelmi beszerzések és a turizmus révén számos külföldi megrendelőjük is van, jellemzően az arab országokból, illetve a távol-keleti régió országaiból, de kapcsolatban állnak Oroszországgal, Romániával és a volt szovjet tagköztársaságok többségével is. A cégcsoport leányvállalata az isztambuli székhelyű FNSS Savunma Sistemleri A.Ş. vállalat is, amely a török védelmi ipar első magánkézben lévő vállalata volt, és amely vállalat a BAE System cégcsoporttal partnerségben gyártja a különféle páncélozott harcjárműveket és egyéb szárazföldi eszközöket. [6]

A cégcsoporton belül 1976-ban alakult meg a Nurol Makina ve Sanayi A.Ş. leányvállalat, amely már 1990 óta foglalkozik járműépítéssel, és ehhez kapcsolódó logisztikai szolgáltatások biztosításával. 1992 óta szállítja a különböző védelmi képességű katonai járműveket is. A Nurol Makina vállalat korszerű, 55 000 m² alapterületű gyártóüzeme Ankarában található. 17 000 m²-es fedett gyáregysége rendelkezik a járművek gyártásához szükséges minden olyan modern és folyamatosan korszerűsített géppel, amelyekkel a legújabb eszközöket magas minőségben lehet gyártani. Az üzemi próbák és tesztek végrehajtásához nélkülözhetetlen teszt pályák ugyancsak a gyártó vállalat telephelyén állnak rendelkezésre. (12. ábra)

A 13. ábrán megfigyelhető a gyártósor belső elrendezése, a beépítésre váró erőátviteli blokkokkal, illetve az összegegsztett, páncéltestekkel.

(Folytatjuk)



13. ábra. A Nurol Makina ankarai üzemének Ejder Yalçın gyártósora [14]

HIVATKOZOTT IRODALOM

- [1] Stephen W. Miller, „The MRAP Story: Learning from History”. *Asian Military Review*, 2018. október 30. <https://asianmilitaryreview.com/2018/10/the-mrap-story-learning-from-history/>;
- [2] Jen Judson, “30 Years: MRAP – Rapid Acquisition Success,” *Defense News* 2016.10.25. <https://www.defensenews.com/30th-anniversary/2016/10/25/30-years-mrap-rapid-acquisition-success/>;
- [3] JR Potts, “Navistar International MaxxPro Mine Resistant Ambush Protected (MRAP) Vehicle” *Military Factory*, 2019. 02.07. https://www.militaryfactory.com/armor/detail.asp?armor_id=643;
- [4] „International MaxxPro Dash DXM (USA)”. Elérés 2021. március 17. <https://www.armedconflicts.com/International-MaxxPro-Dash-DXM-t186711/>;
- [5] Tamir Eshel, “Where are the MRAP Going?” *DefenseUpdate.com* 2012. 06. 04. https://defense-update.com/20120604_where-are-the-mrap-going.html;
- [6] “With over 40 Years of Engineering Experience NUROL Makina is now in the Service of the Hungarian Armed Forces,” *Defence Turkey* 14. évf, 99.szám (2020) Elérés: 2021. 03. 17. <https://www.defenceturkey.com/en/content/with-over-40-years-of-engineering-experience-nurol-makina-is-now-in-the-service-of-the-hungarian-armed-forces-4047/>;
- [7] http://www.elfnet.hu/images/haditechnika/pancelautok/casspir/casspir_katonak.jpg;
- [8] <https://www.pinterest.fr/pin/626492998135403762/>;
- [9] https://www.armyrecognition.com/rg33_rg-33_variants_bae_systems_armoured_vehicle/rg33_rg-33_mrrmv_mrap_mine_resistant_recovery_maintenance_vehicle_data_sheet_specifications_uk.html;
- [10] https://www.reddit.com/r/TankPorn/comments/c99p6r/woodland_camouflage_maxxpro_dash_mrap_in_south/;
- [11] <https://www.prnewswire.com/news-releases/eos-new-weapon-systems-set-new-performance-records-300038212.html>;
- [12] https://web.archive.org/web/20120901092652/http://mhrfweb.makett.org/MHRF/index.php?option=com_phocagallery&view=category&id=83%3Avegyes-hm-kepek&Itemid=11&lang=hu letöltés: 2020.03.05.;
- [13] „Nurol Holding”. Elérés 2021. március 17. <https://www.nurol.com.tr/en>;
- [14] „Nurol Makina - Ejder Yalçın”. Nurol Makina. Elérés 2021. március 17. <https://www.nurolmakina.com.tr/ejder-yalcin-en>.

JEGYZETEK

- 1 Mine Resistant Ambush Protected – szó szerint: aknaálló, csapdavidett.
- 2 Improvised Explosive Devices – rögtönzött robbanó eszközök.
- 3 High Mobility Multipurpose Wheeled Vehicle – nagy mobilitású többcélú kerekes jármű.
- 4 South African Defence Forces.
- 5 Önhordó, héjszerkezetű, egyetlen darabból álló vázszerkezet.
- 6 Mine Protected Vehicle – aknavédett jármű.
- 7 Hardened Engineer Vehicle – megerősített műszaki jármű.
- 8 British Royal Engineers – Brit Királyi Műszakiak.
- 9 Protected Patrol Vehicles – védett járőr jármű.
- 10 Az RG-31 US Army részére szállított változata Cummins vagy Detroit dízelmotorral szerelve.
- 11 Special Operations Command – Különleges Műveleti Parancsnokság.
- 12 MRAP All Terrain Vehicle – növelt aknavédelemmel rendelkező terepjáró jármű.
- 13 Objective Gunner Protection Kit – lövész védelmi készlet.
- 14 Common Remotely Operated Weapon Station – közös távirányítót fegyverállvány.
- 15 Gépjármű Beszerzési Program.
- 16 Hazai besorolás alapján speciális páncélozott tüzserész jármű (SPTJ).
- 17 Törökül: Türk Silahlı Kuvvetleri.
- 18 Jandarma.
- 19 Sahil Güvenlik Komutanlığı.
- 20 A családi vállalt neve a **Nu**rettin és **Erol** Çarmıklı, a vállalat alapító fiainak keresztnevéből alkotott mozaikszó.

Tömböl László* – Böcz Lajos Lóránt** – Juhancsik János***

A földi telepítésű légvédelem új vezetési rendszere

ELŐZMÉNYEK

A honi légvédelmi rakéta fegyvernem aktív tűzeszközeinek felsőbb szintű irányítása az 1960-as és '70-es években „hagyományos vezetési modell” szerint történt. A légi céloknak a harci osztályok (a légvédelemben zászlóalj szintű szervezeti elemnek felelnek meg) közötti elosztása az ezred (dandár) harcállásponton rendelkezésre álló légihelyzet-információk alapján teljességgel egyszemélyi döntést igényelt (a segítők javaslatainak figyelembevételével). Az osztályok hangosbeszélő hírközlő eszközön szóbeli utasításokat kaptak, hogy mely célokat semmisítsék meg. A felderítést és azonosítást csak a légi helyzet általános képét ábrázoló tervtáblák (a valós helyzethez viszonyított 2–5 perc késéssel), a helyi felderítő-célmegjelölő lokátorok közvetlen adatai, illetve az előljáróval létesített kapcsolat segítette.

A légi támadóeszközök adott térrészben egyidejűleg potenciálisan megjelenő mennyisége (tömeges légcsoport, komplex repülőcsoportok), és ezzel összefüggésben a tűzkiváltó szervezetek szükséges és lehetséges darabszámának növelése (5 osztály: ezred, több alárendelt már dandár) olyan kihívást jelentett a vezetés számára, amely az egyszemélyi felelősség megtartásával, de automatizálási-számítástechnikai háttér nélkül már nem volt megvalósítható.

A honi légvédelmi rakétaeszközök automatizált vezetését rendszerének első képviselője Magyarországon 1981-ben a VEKTOR-2VE (5N35E)¹ (Magyar Néphadsereg 11. Honi Légvédelmi Rakétadandár), majd néhány évvel később, annak továbbfejlesztett változata a SZENYEZS ME (5SZ99ME)² (104. Honi Légvédelmi Rakétaezred) volt. (1. ábra) A korszak szovjet-orosz technikai színvonalát képviselő vezetési komplexumok – az eszközökhöz kapcsolt



1. ábra. A SZENYEZS ME vezetési rendszer munkaállomásai az 1980-as évek végén [1]

rádiótechnikai szervezetek felderítési adatai alapján – képek voltak 40 (VEKTOR-2VE), 50 (SZENYEZS ME) légi cél (célcsoport) egyidejű kezelésére, és 14-nél is több alárendelt osztály készültségi helyzetének követésére, harctevékenységének irányítására, továbbá 5–6 vadászpilóta műszeres rávezetésére az együtt települt vadászirányító pontról. A SZENYEZS ME a beszerzésre tervezett Sz-300 típusú komplexumok vezetésére is alkalmas volt.

Ezek a vezetési rendszerek a célpályáknak, a hozzárendelt rakétakomplexumok potenciális megsemmisítési zónáiba számított „beérkezési idő” alapján optimalizálták a célelosztást. A működés már digitális technikán alapult, de

ÖSSZEFOGLALÁS: A Zrínyi Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program (Zrínyi HHP) keretében a földi telepítésű légvédelem eszközállománya is megújul. A légtérvédelmi képesség első új eleme a német Airbus Defence and Space vállalat által gyártott multifunkciós Föld-Levegő Rakéta Műveleti Központ, a SAMOC (Surface-to-Air Missile Operations Center). A SAMOC, vezetési eszközként megvalósítja a hozzárendelt földi telepítésű légvédelem összetevőinek stratégiai szintű koordinációját. A beszerzésre vonatkozó szerződést 2018. december 20-án írták alá a Honvédelmi Minisztériumban. Rendszerbe állítása – az új kis-közepes hatótávolságú légvédelmi rakétarendszer (NASAMS – National Advanced Surface to Air Missile System) – beszerzésének időpontjához igazodva, azt megelőzően valósul meg.

KULCSSZAVAK: Zrínyi HHP, földi telepítésű légvédelem, SAMOC, NASAMS

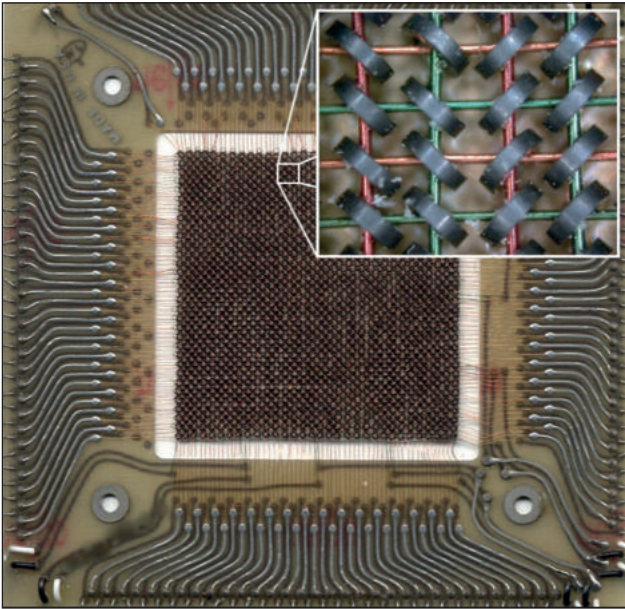
ABSTRACT: As part of the Zrínyi Defence and Military Development Program the elements of the ground based air defence will be replaced too. The first new element of the air defence capability is the multifunctional Surface to Air Missile Operations Center (SAMOC), developed and produced by Airbus Defence and Space (Germany). The SAMOC, as a management system handles the co-ordination of the subordinated ground based air defence assets at strategic level. The contract was signed at the Hungarian Ministry of Defence on 20th December 2018. The system will reach its final operational capability prior to the introduction of the new small-medium range ground based air defence system (NASAMS - National Advanced Surface to Air Missile System).

KEY WORDS: Zrínyi HHP, Ground Based Air Defence, SAMOC, NASAMS

* Nyugállományú vezérezredes. ORCID: 0000-0003-3289-2296

** Ezredes, az MHP Haderőtervezési Csoportfőnökség Fegyvernemi Képességtervező Főnökség főnöke. ORCID: 0000-0002-4489-331X

*** Nyugállományú alezredes. ORCID: 0000-0002-6333-2729



2. ábra. A ferritgyűrűs írható-olvasható memóriaegység felépítése [2]

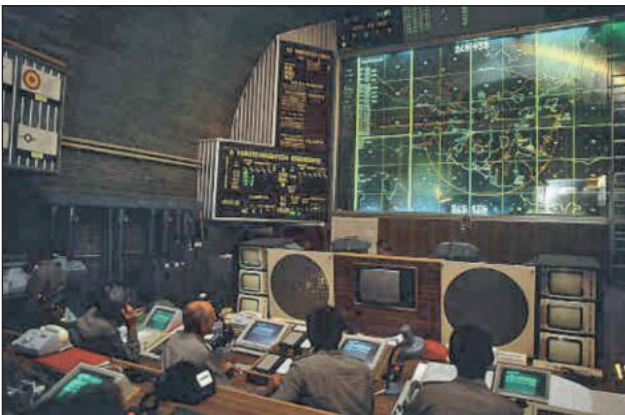
a kornak megfelelő számítási teljesítmény és az adattárolás lehetősége behatárolta a rendszer képességét. (2. ábra.)

A VEKTOR-2VE és a SZENYEZS ME vezetési komplexumokat – a haderőcsökkentés részeként a honi légvédelmi rakétaszervezetek teljes felszámolásával együtt – 2001-ben kivonták a Magyar Honvédség hadrendjéből, majd azt követően az eszközöket fizikailag is megsemmisítették.

A VOZDUH-M³ néven ismert szovjet-orosz komplex vezetési és adattovábbító rendszer légvédelmi hadtest szintű eleme: a VSZ-11M⁴, 1987-től működött Veszprémben. (3. ábra.) Képes volt kezelni a rádiólokációs felderítőrendszereket (VP-01, VP-02⁵, PORI⁶), a vadászravezető állomásokat (VP-11⁷) és a VEKTOR-2VE és SZENYEZS ME eszközöket, de tűzvezetési lehetőségeit csak részben használták ki.

A szárazföldi katonai szervezetek közvetlen légvédelmi oltalmazását biztosító csapatlégvédelmi rakéta (KRUG-KUB) egység-alegység vezetési rendszerei – a felderítő-eszközök képességeihez igazodva – lehetővé tették az alárendelt ütegszervezetek (a légvédelemben a szárad alegység megfelelője) centralizált tűzvezetését, a P-40-es és P-18-as lokátorok oldalszög- és távolságadatait kiegészítő PRV-16-os magasságmérő koordinátái alapján. A NATO-

3. ábra. A VSZ-11M rendszer munkaállomásai a veszprémi védett vezetési objektumban, az 1980-as évek végén [3]



csatlakozást követően a rendszert hazai fejlesztéssel korszerűsítették, és kiegészült a Mistral közeli hatótávolságú légvédelmi rakéta szervezeti elemek centralizált vezetési képességével.

A JELENKOR

A nemzeti önrendelkezés alapfeltétele a légi felségjog érvényesítése, a légtér-szuverenitás megteremtése és állandó fenntartása. Magyarország ezt a képességet, a NATO szövetségi légtér részeként – az ellenőrzést végző felderítő és adattovábbító rendszerekhez történő közvetlen csatlakozással – jelenleg és a későbbiekben is önállóan kívánja megvalósítani. Napjainkban ez a tevékenység (az aktív tűzeszközöket tekintve) gyakorlatilag teljes egészében a harcászati repülőerők feladata.

A hadrendben lévő 2K12 KUB típusú – rendeltetését tekintve – csapatlégvédelmi eszközök mennyisége, hatótávolsága, cél-tűzcsatorna száma és a rendelkezésre álló rakéták műszaki helyzete, továbbá azok azok korából adódó bizonytalan műszaki állapota miatt nem alkalmasak sem kiváltani, sem pedig érdemben kiegészíteni a repülőeszközöket. A '90-es évek második felében beszerzett francia Mistral légvédelmi rakétarendszer – ugyan fejlettebb műszaki színvonalat képvisel – ugyanakkor az eszköz csupán közeli hatótávolságú.

A KÖZELJÖVŐ

A Zrínyi HHP egyik kiemelt eleme a közepes hatótávolságú légvédelmi rakétavédelmi képesség helyreállítása. Ennek keretében kerülhetett sor többéves piackutatás, nemzetközi és hazai tárgyalás, részletes szakmai elemzések, egyeztetések és vezetői döntések után a multifunkciós Föld-Levegő Rakéta Műveleti Központ, a SAMOC (Surface-to-Air Missile Operations Center) és a kis-közepes hatótávolságú NASAMS (National Advanced Surface-to-Air Missile System) légvédelmi rakétarendszer vételi szerződéseinek aláírására. Ugyan nem közvetlenül, de ehhez szervesen kapcsolódik a légtérrelőrzés új radareszközeinek (ELM-2084)⁸ beszerzése is.

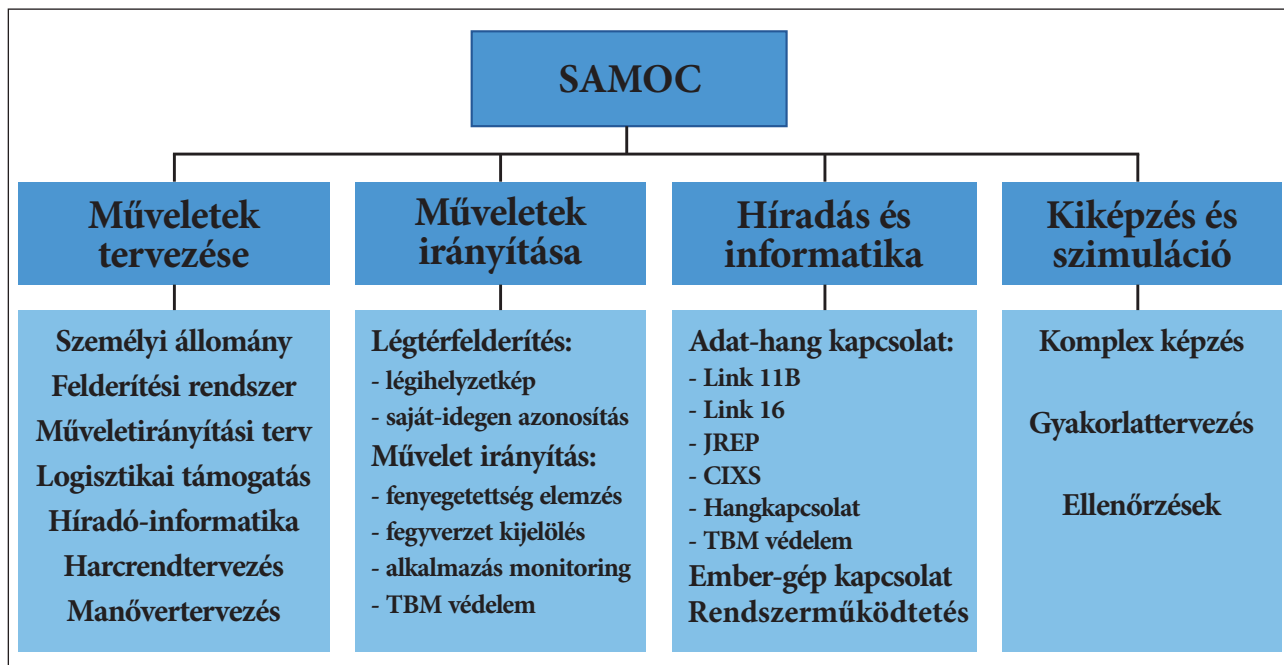
A légvédelmi képesség helyreállításának első, új eleme a SAMOC lesz. Az eszközöket teljes körű műszaki ellenőrzés után szállítja a gyártó, azt követően a Magyar Honvédség komplex, helyi tesztelés után állítja rendszerbe. A hardver-előkészítéssel párhuzamosan megkezdődött a működtető szoftver – NATO-követelmények szerinti (5. ábra.), de nemzeti igényekkel kiegészített – módosítása, fejlesztése és véglegesítése. A kezdeti műveleti képesség – a COVID-19 világvármány miatt – az eredetileg tervezetthez képest minimális csúszással, de még ebben az évben, a teljes műveleti képesség pedig 2022-ben valósul meg.

A SAMOC

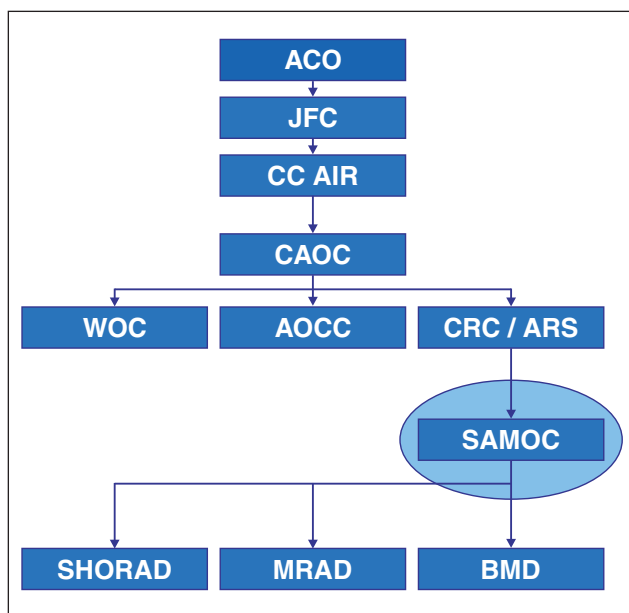
A már üzemeltető és rendszerben tartó Németország és Szaúd-Arábia után Magyarország a harmadik felhasználó nemzet lesz.

A SAMOC olyan vezetési-irányítási komplexum, amely egységes, integrált módon valósítja meg a földi telepítésű légvédelem valamennyi hozzárendelt összetevőjének stratégiai szintű koordinációját nemzeti és multinacionális környezetben egyaránt. A harctevékenységek előzetes megtervezésével és a beágyazott kiképzési funkciókkal





4. ábra. A SAMOC feladatrendszerének sémája (a szerzők szerkesztése a [4] alapján)



5. ábra. A SAMOC vezetési komplexum NATO műveleti rendszerben elfoglalt helye [4]

ACO: Szövetségi Műveleti Parancsnokság; JFC: Egyesített Erők Parancsnoksága; CC AIR: Légi Komponens Parancsnokság; CAOC: Légi Műveleti Központ; WOC: Egység Műveleti Központ; AOCC: Légi Műveletvezetési Központ; CRC: Irányítóközpont; ARS: Légiirányítási Központ/Valós idejű légi helyzetkép Előállító Központ/Szenzoradatgyűjtő és integráló Központ; SAMOC: Föld-Levegő Rakéta Műveleti Központ; SHORAD: Kis hatótávolságú légvédelem; MRAD: Közepes hatótávolságú légvédelem; BMD: Ballisztikurakéta-védelem

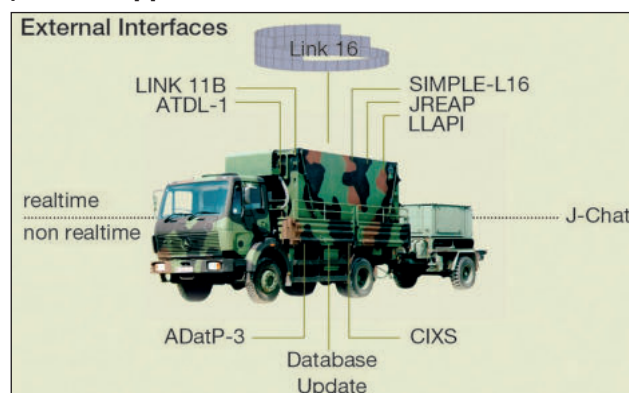
együtt, a teljes BMC4I (Battle Management Command, Control, Communications, Computers and Intelligence) feladatkör megoldására alkalmas. (4. ábra.) A rendszer, további – szükséges – adatok alapján képes ballisztikus rakétavédelmi számításokat végezni és a megsemmisítő tüzesszökeket irányítani.

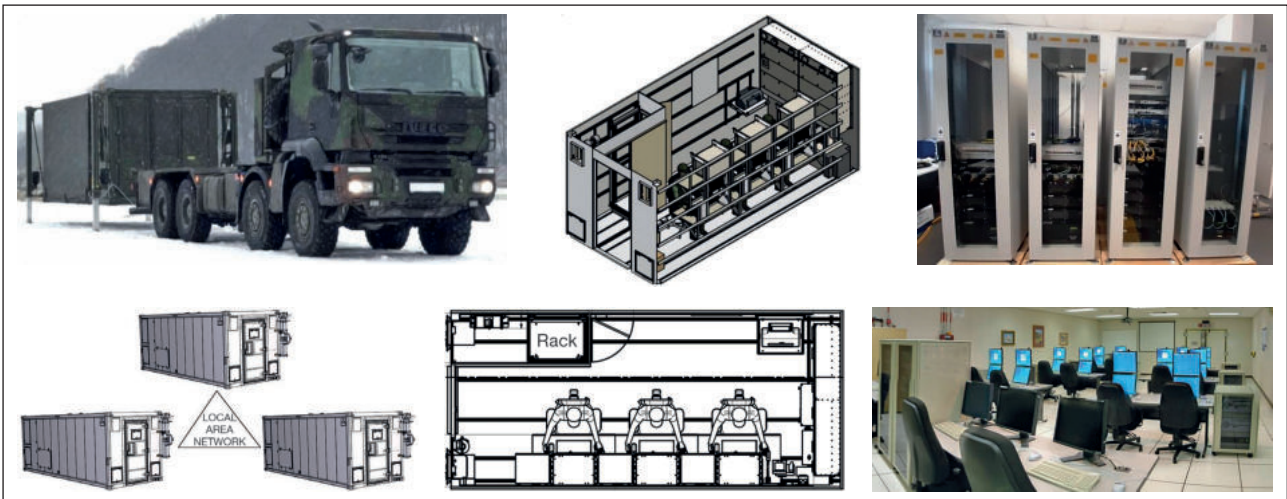
Működtetése modern felhasználói felületeken történik, nagy méretű és nagy felbontású grafikus megjelenítéssel. A nyitott architektúra következtében a rendszer készen áll a további fejlesztésekre és jövőbeni újabb szabványú protokollok kezelésére. A SAMOC a jelenlegi legkorszerűbb légvédelmi technológiát képviseli, kompatibilis és közvetlenül összekapcsolható a hasonlóan fejlett, jelenleg is állandóan működő NATO rendszerközpontokkal.

A rendszer gyors, megbízható, pontos információkat szolgáltat a valós idejű légi helyzetről. Felméri, elemzi a lehetséges fenyegetéseket és optimalizálja a rendelkezésre álló aktív védelmi fegyverek alkalmazását. Szabványos – harcászati adatkapcsolatok útján valós idejű (realtime), illetve a katonai üzenetkezelési protokollok szerinti ütemzéssel késleltetett (non realtime) – hálózatközpontú működést valósít meg. (6. ábra.)

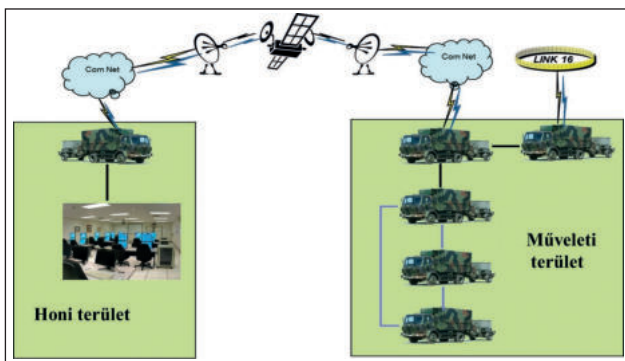
A SAMOC hardverkiépítése alapváltozat szerint két, önállóan is működőképes félkészletű rendszerből áll. Az elhelyezés történhet mobil (ISO-szabványnak megfelelő méretű) konténerekben, illetve állandó vezetési létesítményben, ez utóbbi esetében védett vagy akár egyszerű hivatali munkakörnyezetben is. (7. ábra.)

6. ábra. Szabványos harcászati és üzenetkezelési protokollok [5]





7. ábra. A SAMOC-rendszer mobil és stacioner elhelyezésének lehetséges változatai (a szerzők szerkesztése a [6] alapján)



8. ábra. Stacioner és mobil telepítésű SAMOC félkészlet műholdas kapcsolati változata (a szerzők szerkesztése a [4] alapján)



9. ábra. Mobil SAMOC a Tobruq Legacy 2019 NATO-gyakorlaton, Lengyelországban [6]

Egy félkészlet egyidejűleg vagy művelettervezést, vagy pedig közvetlen műveletirányítást végezhet. A munkaállomások maximális száma kötött, de a feladatkör felcserélhető, továbbá – megfelelő kommunikációs rendszeren keresztül – akár más földrajzi elhelyezésben is rugalmasan kezelhető. (8. ábra.) Ennek egyik konkrét példájaként említhető a 2013-ban, a törökországi „Active Fence” (Aktív Kerítés) kódnevű NATO-küldetés során német honi területen megvalósított tervezés, és a Kahramanmaras térségében (város Törökország déli részén) telepített Patriot ütegek irányítása.

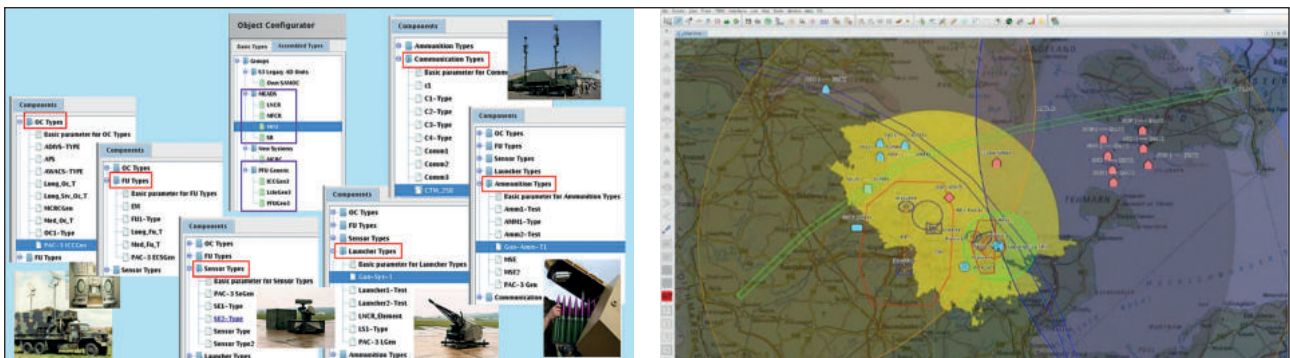
A SAMOC számos harcászati gyakorlaton – JPOW (Joint Project Optical Windmill), JAWTEX (Joint Air Warfare Tactical Exercise), Tobruq Legacy (9. ábra.) –, NATO PFP (Partnership for Peace) keretben (Svédország, Kazahsztán) és a NATINAMDS⁹ programban történő részvétellel bizonyította a stratégiai vezetési képességet.

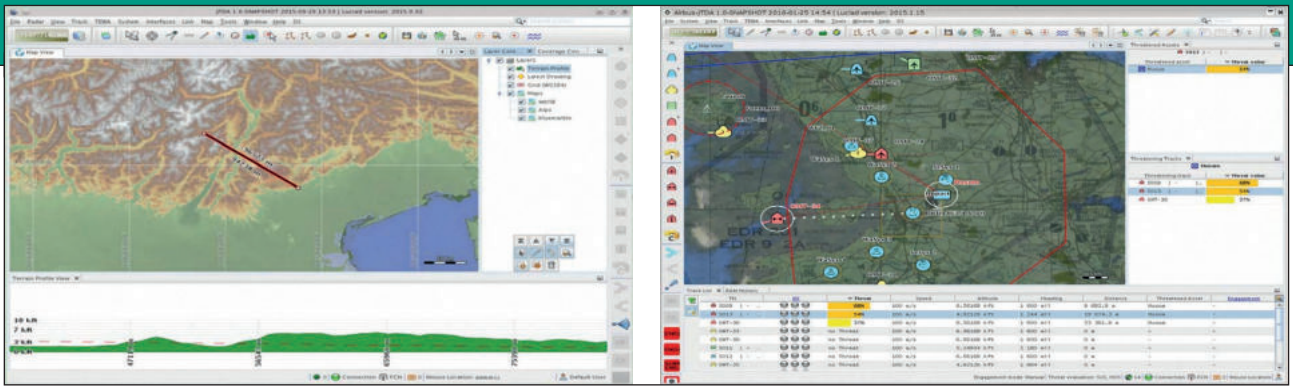
Az ipari-katonai követelményeknek megfelelő hardverkiepítés szoftveres háttérében a világ egyik vezető, nyílt forráskódú szoftervállalata által forgalmazott Linux kernel alapú operációs rendszer áll, és az ehhez fejlesztett célalkalmazások biztosítják a kezelői feladatok megoldását. (10. ábra.)

A kezdeti és a teljes alkalmazási képesség érdekében a beszállító cég két önálló fázisra bontott, speciális szoftverkezelő és hardver-szoftver üzemeltetési képzést vállalt. A programban résztvevők a későbbiekben biztosítják a bevezetés és a rendszerbe állítás humán erőforrását, majd azt követően oktatói szerepkörben a további működtető és kiszolgáló személyzet „betanítását”.

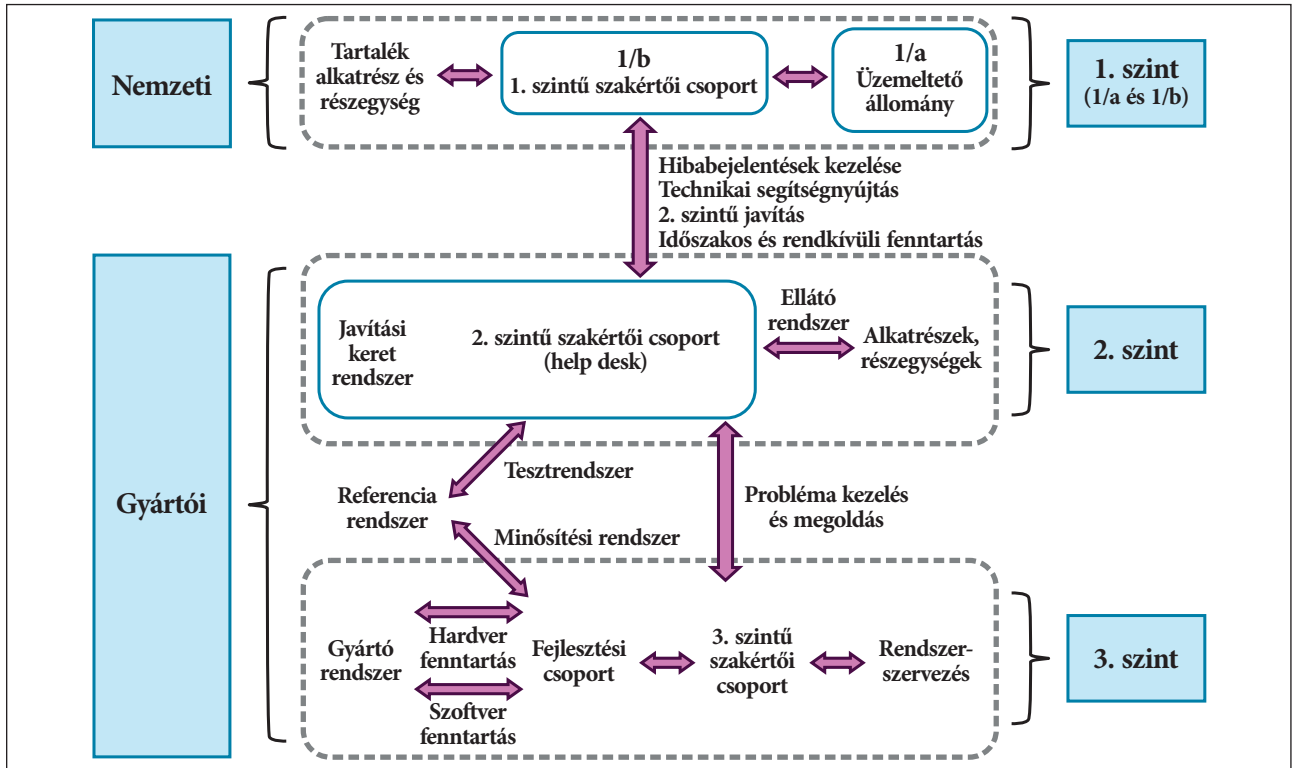
A rendszerben tartást többszintű, integrált logisztikai támogatás biztosítja. Első szinten az alkalmazó állomány végzi

10. a) és b) ábra. Művelettervezési és irányítási felületrészletek (a szerzők szerkesztései) [4]





10. c) és d) ábra. Művelettervezési és irányítási felületrészletek (a szerzők szerkesztései) [4]



11. ábra. A SAMOC logisztikai támogatási rendszere (a szerzők szerkesztése) [4]

az általános üzemviteli feladatokat (beépített ellenőrzési funkciók futtatása, üzem- és egyéb anyagok feltöltése-pótlása stb.). Rendellenes vagy hibás működés esetén szakértői csoport végzi az alkatrészek, részegységek cseréjét a rendelkezésre álló tartalék, vagy külön igény alapján leszállított anyagokkal.

A logisztikai támogatás második szintjén a beszállító cég szakértői segítséget nyújtanak a hibajelenségek kezelésében és elhárításában, szükség esetén személyesen is közreműködnek a javításban, és biztosítják az igényelt anyagok, alkatrészek, részegységek szállítását.

A harmadik szinten közvetlenül a gyártó fejlesztő és szakértő csoportjai végzik a közbülső szint lehetőségeit is meghaladó hardver-szoftver problémák kezelését és megoldását, új rendszerelemek és szoftververziók előkészítését. A 2. és 3. szint feladatainak megoldását gyári referenciarendszer segíti. (11. ábra.)

Tekintettel arra, hogy a SAMOC rendszerbe állítása időben megelőzi a NASAMS légvédelmi rakétaeszközök beszállítását, a gyártó AIRBUS – az átmeneti időszakra – alkalmassá teszi a vezetési rendszert a jelenleg még hadrendben lévő KUB ütegszervezetek irányítására is.

ÖSSZEGRÉS

A SAMOC és a már ugyancsak aláírt beszerzési szerződés szerinti NASAMS légvédelmi rakétarendszer magas szintű automatizáltsága – a korábbi és jelenlegi hadrendi eszközökhöz viszonyítva – kisebb létszámú személyzetet igényel. Ugyanakkor a rendszerben tartás és a harci alkalmazás nélkülözhetetlen feltétele marad a képzett és erre felkészült, szakmai hivatástudattal rendelkező személyi állomány.

HIVATKOZOTT IRODALOM

- [1] <https://simhq.com/forum/ubbthreads.php/ubb/printthread/Board/339/main/386010/type/thread> Elérés ideje: 2021.03.10.;
- [2] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/df/Ferrite_core_memory.jpg Elérés ideje: 2021.03.10.;
- [3] Teczely Béla, „Automatizált légi vezetés-irányítás, múlt, jelen, jövő (?)” Repüléstudomány 2004. Különszám. http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2004_cikkek/teczely_bela.pdf; Elérés ideje: 2021.03.10.;

- [4] *Airbus SAMOC and further Air C2 Solutions Presentation to MOD of Hungary* (pdf);
 [5] <https://www.intelligence-airbusds.com/en/8912-fortion-samoc-state-of-the-art-technology-for-air-defence> Elérés ideje: 2021.03.03.;
- [6] <https://esut.de/en/2019/09/fachbeitraege/streitkraefte-fachbeitraege/14800/das-samoc-im-multinationalen-einsatz-vernetzte-operationsfuehrung-waehrend-der-uebung-tobruq-legacy-2019/> Elérés ideje: 2021.03.11.;
- [7] Palik Máttyás Csaba: Automatizált légvédelmi vezetési rendszerek keleten és nyugaton, összehasonlító elemzés http://www.repulestudomany.hu/tdk/2014_Palik_Matyas_Csaba_SZD.pdf Elérés ideje: 2021.03.04.

JEGYZETEK

- 1 1980-tól működött az érdei 20-as, védett harcállásponton a VEKTOR-2VE (5N35E) automatizált vezetési rendszer. Alapvető rendeltetése információk automatizált összegyűjtése, feldolgozása, továbbítása és a légvédelmi rakétadandár tűzének vezetése, az elfogó vadászpilóták műszeres rávezetése az ellenséges légi célokra. Az automatizált harcállásponton egy időben 40 légi cél adatainak vétele, feldolgozása és a dandár alárendeltségébe tartozó 14 légvédelmi rakétaosztály (Volhov, Nyeva, Vega) harctevékenységének, valamint 6 elfogó vadászpilótáigépek automatizált célra vezetése zajlott. [7; 60. o.]
- 2 1988-ban a szarvaspusztai 50-es védett harcállásponton telepítették a rendszert, amelynek képességei a VEKTOR rendszerhez képest, a számítógép szoftverének köszönhetően gyarapodtak. A harcálláspont berendezései lehetővé tették az információk automatizált forrástól történő vételét, feldolgozását maximum 50 egyes és csoportos légi objektumról. Az eszköz 17 légvédelmi rakétaosztály vezetését tette lehetővé (Sz-75, Sz-125, Sz-200, Sz-300), amelyek összesen 24 tűzcsatornával rendelkeztek. [7; 61. o.]
- 3 Az 1950-es évek végén kifejlesztett VOZDUH-1P összetevőkből kialakított VOZDUH-1M rendszerhez tartozó komplexumok alapvető és széles körben elterjedt eszközök voltak a Varsói Szerződést aláíró szocialista országokban, bár haditechnika-történeti kutatások a közelmúltban feltárták, hogy hamar áttértek korszerűbb komplexumok telepítésére. [7; 57. o.]
- 4 A honi légvédelmi rendszer harcászati szintjének legfelső, a hadosztály (hadtest), illetve a rádiótechnikai dandár közös, megerősített harcálláspontjára telepítették. A rendszert speciálisan a légvédelmi magasabbegységek számára fejlesztették ki. Innen hajtották végre az alárendeltségébe tartozó légvédelmi rakéta, vadászpilóta, rádiótechnikai, rádiófelderítő-zavaró magasabbegységek, egységek és alegységek harctevékenységének centralizált-automatizált vezetését. [7; 56. o.]
- 5 A VP-01M komplexumokat kis magasságú célokat felderítő rádiótechnikai századoknál telepítették. A közvetlenül csatolt radarok által szolgáltatott adatokat ábrázolta, majd az információkat automatizáltan továbbította a VP-02M-mel felszerelt rádiótechnikai századhoz vagy az előjáró harcálláspontjára. Megoldotta a parancsok vételét, jelentések küldését, kijelzését, valamint a vett információk tárolását. [7; 55. o.]
- 6 A PORI (5D91) rendszer zászlóalj szinten telepített rádiólokációs információkat feldolgozó központ volt, amely 5 rádiótechnikai század által szolgáltatott adatokat volt képes venni, feldolgozni, ábrázolni és továbbítani. A komplexum számítógépe képes volt 1200 km távolságra, 40 km magasságra és 4000 km/h célsebességig koordináta átszámításra, mozgáspáraméter számításra, célútvonal korrekcióra, illetve az alárendelt századok felé történő célozásra. [7; 60–61. o.]
- 7 VP-11 komplexum a közvetlenül csatolt rádiólokátoroktól vett elsődleges, vagy az ASZPD-1 alrendszeren érkező másodlagos adatok alapján megoldotta az elfogók műszeres rávezetését. Legtöbbször a rádiótechnikai századoknál telepítették, de lehetséges volt közvetlenül a vadászpilótáigépek harcálláspontján is elhelyezni. [7; 54. o.]
- 8 Az ELM-2084 izraeli gyártású, földi telepítésű, mobil, multifunkciós radar (MMR), amelyet az ELTA, az Israel Aerospace Industries leányvállalata gyárt. A radar felismeri és nyomon követi mind a repülőgépeket, mind a ballisztikus rakétákat és tűzvezetést biztosít a rakéták vagy a tűzvédelmi légvédelem számára. A radart megvásárolta és hadseregében üzemelteti: Izrael, Kanada, Szingapúr és a Cseh Köztársaság.
- 9 NATO Integrated Air and Missile Defence System – NATO Integrált Légvédelmi és Rakétavédelmi Rendszer.

Elhunyt M. Szabó Miklós hadtörténész

1942–2021

Életének 78. évében, 2021. március 9-én elhunyt M. Szabó Miklós hadtörténész, az MTA rendes tagja, nyugállományú altábornagy, a Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem rektor emeritusa, lapunk szerzője és lektora. Altábornagy Úr 1987-ben lett a hadtudomány doktora, 1988-ban nevezték ki egyetemi tanárrá. A Magyar Tudományos Akadémiának 2001-től vált levelező, 2007-től pedig rendes tagjává. Kutatási területei közé tartoztak a második világháború hadműveletei, a Magyar Királyi Honvéd Légierő és a második világháború utáni magyar katonai felsőoktatás története. A Magyar Tudományos Művek Tárában 250 írását rögzítették.

Pályája során számos hazai és külföldi elismerésben részesült, több tudományos és közéleti tisztségét is betöltötte. Kollégái, hallgatói egyaránt tisztelték felkészültségét, alaposágát, tudományos alázatát és fanyar humorát. Élete utolsó percig oktató és kutató, még rengeteg megvalósítandó terve volt.

1984-től a Zalka Máté Katonai Műszaki Főiskola, majd 1991-től a Bólyai János Katonai Műszaki Főiskola parancsnoka volt.

A Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem létrehozásában megkérdőjelezhetetlen érdemeket szerzett. Sokat küzdött azért, hogy a katonai felsőoktatás tartalmában és nevében is egyetemi szintűvé váljon, kiváltság legyen ott végezni. 1996-tól 11 éven át volt az egyetem rektora. A Magyar Honvédség mai tisztikarának döntő többsége ott szerezte ismereteit, számukra M. Szabó Miklós mentor és személyes ismerős maradt.

A Haditechnika folyóirat többször fordult hozzá, mint megbízható és alapos lektorhoz. Munkájával soha nem késett, és véleményét mindig megalapozottan fogalmazta meg. Hiányozni fog...

Altábornagy Úr nyugodjon békében!

(Szerkesztőség)



Őze Zoltán*

Új szakcsapat születése az I. világháborúban: a vegyivédelem



1. ábra. Gáztámadásra felkészülve várakoznak a magyar királyi 20. honvéd gyaloghadosztály katonái. Monte St. Michele 1915–1916 (Fotó: HM HIM, 28141-170)

ELŐZMÉNYEK

Az első világháborút megelőzően, az 1899. évi. I. hágai békekonferencián a vezető nagyhatalmak (Franciaország, Németország, Olaszország, az Osztrák–Magyar Monarchia, Oroszország, Japán, valamint 21 további állam) megegyeztek abban, hogy megtiltják a „mérges és fojtógázok” harci alkalmazását. Ezt a tilalmat – amelyet a II. hágai békekonferencián 1907-ben újból megerősítettek – Magyarországon az 1913. évi XLIII. törvénycikk léptette életbe. [1] Az egyezmény legnagyobb hiányossága, hogy nem tiltotta és szankcionálta a kutatást, sem a mérges gázokat tároló-felhasználó kifejlesztését, továbbá, hogy a mérges gázokkal kapcsolatban nem fogalmazott meg kellően általános tilalmat.

Az alkalmazás legfontosabb előfeltételei (megfelelő toxicitású vegyi harcanyag megléte, harctéri körülmények közötti hatásos mérgező harcanyag-koncentráció létrehozására alkalmas célba juttató eszköz és alkalmazási módszer, a háborús igényt kielégítő gyártási, szállítási kapacitások megszervezése) az I. világháború éveiben a hadban álló országok túlnyomó többségében már biztosítottak voltak.

Az alkalmazás közvetlen okai, és az elérendő célok a következőkben foglalhatók össze:

- a háborús felek ennek az új fegyvernek az alkalmazásától remélték az állóháború rövid időn belüli győzedelmes befejezését;
- a hagyományos fegyverekhez képest viszonylag alacsony volt az előállítási költség;
- a hadviselő felek ipari háttere alkalmassá vált a vegyi fegyverek és a célba juttató eszközök tömeges előállítására;
- rendelkezésre állt az alkalmazáshoz elengedhetetlen szellemi tudás és humán erőforrás. [2]

ÖSSZEFOGLALÁS: Az I. világháború, amelyet úgy emlegettek, hogy a „háború, amely véget vet minden háborúnak”, számtalan olyan technikai újítást hozott, amelyek örökre megváltoztatták a hadviselés arculatát. Ez volt az a háború, amelyben megjelentek a harckocsik, a tengeralattjárók, a repülőgépek, a lángszórók és a lövészárkok néma gyilkosai, a vegyi fegyverek. A harci gázok tömeges bevetése kikényszerítette az ellenük történő védekezés eljárásrendjének, és ezzel együtt egy új szakcsapatnak a megszületését: ekkor alakult meg a vegyivédelmi szakszolgálat.

KULCSSZAVAK: I. világháború, vegyi fegyverek, vegyivédelem kialakulása

MEGJELENIK A VEGYI FEGYVER

A közhiedelemmel ellentétben nem a németek, hanem a franciák voltak azok, akik először vetettek be vegyi fegyvereket az I. világháború során. Már 1914 augusztusában használtak etil-brómacetát tartalmú könnygázt a támadó német csapatok visszaszorítása érdekében. A gáz koncentrációja azonban annyira alacsony volt, hogy hatástalan maradt. A németek először 1915 januárjában, Lengyelországban alkalmaztak vegyi anyagokat: Bolimów városánál a különösen veszélyes xilil-bromidot vetették be az orosz ellen, de a nagy hidegben a gyilkos gáz egy része megfagyott. [3]

Technikai értelemben a forradalmi változást egy német kémikus idézte elő. Fritz Haber (2. ábra) arról vált ismertté, hogy elsőként hozott létre sikerrel mesterségesen a levegő nitrogénjéből ammóniát.



2. ábra. Fritz Haber, a vegyi fegyver atyja (1868–1934) [4]

Haber meg volt győződve arról, hogy a klórgáz eldönti a háború kimenetelét. Olyannyira, hogy 1915. április 22-én [5] ott volt a vegyi fegyver első bevetésénél is. A január óta tartó előkészítő munka után a belgiumi Ypern közelében mintegy 6 km-es terepszakazon 6000 db gázipalackból engedtek ki 180 tonna [6] klórgázt. A hatás drámai volt: a horizontot 10 méter magas-

ABSTRACT: World War I, often referred to as “the war to end all wars,” brought a dozen of technical innovations that changed the characteristic of the warfare forever. It was the war in which tanks, submarines, planes, flamethrowers, and the silent killer of the trenches, the chemical weapon appeared in the battlefield. The threat of massive deployment of war gases was met by an evolving array of defensive countermeasures. To achieve protection against war gases a new special branch was born: the chemical defense service.

KEY WORDS: World War I, chemical weapons, birth of CBRN defense

* NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Katonai Tanfolyamszervező Intézet, főreferens. ORCID:0000-0003-4959-0294



3. ábra. Védekezés mérges gáz ellen; ágyúállás a Krnen, Isonzó front, Olaszország (Fotó: HM HIM, 76496)

sáigig betöltő zöldessárga gázfelhő néhány órán belül 15 000 sérültet és 5000 katonát halálát okozta a szemben álló francia, angol, kanadai seregben. A francia és angol katonák ösztönösen védték magukat a klórgáz hatása ellen szájjal tartott nedves zsebkendővel, illetve házilagosan előállított palackos szűrőkkel. Ez a védelem azonban elégtelennek bizonyult. Az alkalmazók rendelkeztek oxigénlégző készülékekkel, a rohamcsapatokat pedig ellátták úgynevezett szájjvédős légzésvédőkkel.

A klórgáz sósavvá alakul, ha vízzel érintkezik, elpusztítja a szöveteket, így a gáznak kitett katonák belső nedvei gyakorlatilag belefolytak tüdejükbe. A legtöbben főleg fulladás következtében, valamint a tüdőszövetek sérülésétől haltak meg. Rengetegen megvakultak. A gáz kiengedése azonban nemcsak az ellenségnek okozott szörnyű kínokat. Bár sokan kaptak légzésvédőt, amely kisebb koncentrációban megkötötte a klórt, tökéletes védelem hiányában sokan megsérültek, meghaltak a német katonák közül is a művelletben. Már az első vegyi támadás ráirányította a figyelmet arra, hogy a gázfúvásos eljárás kis távolságra volt hatásos és nagymértékben függött az időjárástól.

A legnagyobb gázfúvásos támadást 1915. október 19-én hajtották végre a németek Reimsnél, 550 tonna klórt zúdítva a szövetségesekre 25 000 vastartályból. [7; 18. o.]

Az angolok 1915 szeptemberétől, a franciák 1916 januárjától [8] az oroszok 1916 szeptemberétől hajtották végre gázfúvásos támadást. A védelmi eszközök megjelenésével és tömeges elterjedésével a gázfúvásos eljárás veszített hatékonyságából. A háborús felek újabb eljárások kidolgozásába kezdtek. Francia csapatok 1916. február 21-én foszfénnel töltött gázgránátokat hagyományos gránátokkal kombinálva hajtották végre gáztámadást [8], így a német katonák nem érzelték azonnal a foszfént, nem használták a védőeszközeiket és néhány óra leforgása után jelentkeztek a mérgezés tünetei. Itt az újdonság a széliránytól történő viszonylagos nagyobb függetlenség, a váratlanság, a kombinált alkalmazás, és saját csapatok nagyobb biztonsága volt.

A gázvédelem jelentőségét igazolja, hogy az első bevetések alkalmával a fel nem készített csapatok körében a veszteség elérte a 35%-ot. A világháború végén, a gázvédelmi eszközök és a gázvédelmi rendszabályok bevezetésével ez a szám 2%-ra csökkent [2] annak ellenére, hogy közben az alkalmazott harcászati és harceljárások lényegesen fejlődtek. Ekkor már a kémiai harceszközök fajtái közé sorolták a harcászati, a mesterséges ködöket és a gyújtó anyagokat.

1916-tól a vegyi harcanyag fő célba juttatási eszköze már a tüzérség volt, mindemellett azonban a gázfúvásos és a speciális gázvetőcsöves eljárás a háború végéig fennmaradt. Az összes felhasznált tüzérségi lőszer mennyiségéből a vegyigránátok aránya a német hadseregben 6,4%-ot tett ki.

1917-ben jelentek meg a hadszíntéren a vegyiaknavetők. A tüzérségi vegyi lőszerhez képest ezek a gránátok nagyobb mennyiségű mérgező harcanyagot tartalmaztak, és az eszközök egyszerű szerkezetűek, könnyen és olcsón előállíthatók voltak. Hatótávolságuk megközelítette a 2000 métert. Tömegesen telepítve alkalmasak voltak nagy területen, viszonylag nagy és összefüggő gázfelhő létrehozására. A tüzérségi vegyi támadással összehasonlítva, a gránátvetőkkel végrehajtott támadás eredményessége mintegy kétszeres volt. Itt is a váratlan csapásmérés volt a döntő, hiszen a veszteség túlnyomó többsége az alatt a rövid idő alatt következett be, amely a gáz megjelenésétől a gázárc felvételéig tartott. A szakértők a veszteségek csökkentésének feltételét a gázárcokkal történő ellátás mellett a gázfegyelem követelményeinek kidolgozásában és betartásában látták, amely a következőket jelentette:

- a katonák ellátása mérethelyes, jó minőségű gázárcokkal, és tartalékok képzése,
- a vegyi támadás korai felismerése (folyamatos figyelemmel),
- a vegyi veszélyről szóló értesítés, riasztás megszervezése,
- jártasság a gázárcok viselésében,
- a gázárcok rendszeres karbantartása, hadrafoghatóságának ellenőrzése. [9; 7. o.]

A vegyiharc-csapatok – tehát az alkalmazók – mellett ebben az időben jelent meg a vegyivédelmi (gázvédelmi) szolgálat is.

A gázárcok minőségi fejlődése, az ellátottság növekedése, valamint a gázfegyelem erősödésének arányában a „hagyományos” vegyi harcanyagok által okozott gázsérülések részaránya csökkenő tendenciát mutatott.

Az új mérgező harcanyagok felhasználása és a védőeszközök tömeges elterjedése miatt a hadviselő felek új harceljárásokat dolgoztak ki. A gázárcok a már akkor ismert mérgező harcanyagok gőzei ellen nyújtottak védelmet, de még nem biztosították az aeroszolok (füstök) elleni védelmet. Az eljárás lényege az volt, hogy először kétkereszt jelzésű klark típusú ingerlő harcanyagot alkalmaztak. Az

4. ábra. Magyar királyi 20. honvéd gyaloghadosztály Monte St. Michele 1915–1916 (Fotó: HM HIM, 28141-311)



1. táblázat. Vegyitöltettel rendelkező tűzérési lövedékek színekódjai az I. világháborúban, gázlövedékek jelölésére [10]

Zöldkeresztes	tüdővízenyőft okozó fajták (pl. foszgén, difoszgén és klórpikrin)
Kékkeresztes	ingerlők (pl. difenil-klórarzinklorid, klark I-II, difenil-arzencianid, fenarzin klorid, adamsit)
Sárgakeresztes	hólyaghúzó (pl. mustárgáz)
Fehérkeresztes	könnyfakasztók (pl. benzol-bromid, brómaceton, klóraceton, brómeacet észter)

eljárás neve onnan ered, hogy a különböző típusú (hatásmechanizmusú) mérgező harcanyagokat különböző színű keresztrel jelölték a lőszeres gránáton (1. táblázat). [9; 8. o.]

A kékkereszt jelzésű harcanyagok ellen a gázálcok nem védtek, és támadáskor a katonák az erős köhögési ingerek miatt kénytelenek voltak levenni a gázálcukat. Az így már védtelen állományt a továbbiakban a zöldkeresztes mérgező harcanyagokkal (foszgén, difoszgén) támadták, és soraikban jelentős veszteséget okoztak.

A zöldkeresztes lövedékek alkalmazásának elterjedt módja volt a repeszgránátokkal egyszerre végrehajtott tűzérési tűzcsapás. A tűzcsapás megnyitása srappal történt. Ezzel földközébe, árok mélyére kényszerítették a védekező katonákat. Ezután következett a mérgező harcanyagokkal töltött gránátok célba juttatása. A levegő fajsúlyánál nehezebb foszgén az alsóbb légrétegben terjedt szét, és már kis mennyiségben is súlyos légúti sérüléseket, sőt halált okozott. A fojtó hatású lövedékek becsapódáskor tompa, puffanó hangot adtak, ezzel is jelet adva a gázvédőeszközök felvételére. [9; 11. o.] A felderítés szervezetlensége és a gyakorlatlanság azonban sok tragédiát okozott.

Az új mérgező harcanyagok, illetve az alkalmazási eljárások szükségessé tették a füstök (aerosolok) elleni védelmet. Első lépésként a gázálcok szűrőbetéjébe új réteget, filc anyagból készült fűstsűrőket szereltek be, majd ezt fejlesztették tovább. [11; 30. o.]

1917. július 13-án alkalmazták először a mustárgázt, amely a mérgező harcanyagok alkalmazásának egy magasabb szintjét jelentette. Korábban az emberi szervezetbe történő bejutás elsősorban a légzőszerven keresztül történt (2. táblázat). A gázálcok a légzőszerveket és az arcot – elsősorban a szemet – védtek, ezért később a támadási felület kiterjedt az egész testre. A francia és angol csapatok csak a háború utolsó hónapjaiban alkalmaztak mustárgázt, így ez közel egy évig német „monopólium” volt. A bőrvédelem megoldásának kidolgozására a háború utolsó évében már nem állt rendelkezésre elegendő idő. [9; 32. o.]

Az I. világháború négy éve alatt összesen 124 000 tonna mérgező harcanyagot gyártottak. [12]

Magyar területen 1917-től került sor vegyi töltésű harc-eszközök tömeggyártására. Az újpesti Chinoin saját előállítású brómciant és brómacetont töltött a különféle eszközökbe. A brómciant C, a brómacetont B betűvel jelölték a szövetségi megállapodások alapján. [13] A két anyag rövid



5. ábra. Gázsérültek ellátása [15]

ideig tartó, külön-külön történő felhasználása után áttértek a C és B 30:70%-os arányú keverésére. A Lipták és Társa Rt. pestlőrinci üzemében német eredetű kénmustárt, illetve klarkot töltöttek a hazai gyártású lövedékekbe. A Honvédelmi Minisztériummal kötött szerződés alapján, az üzemnek napi 6000 db-os csúcsteljesítményt kellett elérnie és fenntartania. A gyártási nehézségek állandó gázlőszerhiányt okoztak, amely komolyan befolyásolta a hadműveletek menetét. [13; 7. o.]

A vegyi harcanyagok célba juttatására a legnagyobb tűzerővel rendelkező fegyvernem volt a legalkalmasabb. A tűzérési lövedékek év- és napszaktól függetlenül el tudta juttatni a kívánt helyre, több km-es távolságra is. Így nemcsak a gyalogságot, hanem a mélységben lévő tartályokat, valamint az ellenség utánpótlási vonalait is pusztíthatta.

A vegyifegyver-alkalmazásnak a gázfúvásnál hatékonyabb célba juttató módszere, a gázvető eljárás 1917-ben jelent meg a nyugati hadszíntéren. [15] Az eszközt a britek fejlesztették ki: William Howard Livens mérnök százados egyszerű szerkezetet épített e célra, amelyet Livens-vetőcsőnek neveztek el. [16]

Bár a háború végéig sikerült új típusú vegyi fegyvereket kifejleszteni, és új alkalmazási eljárások is megjelentek, a vegyi fegyverek alkalmazásával hadászati, döntő jelentőségű sikert nem értek el. Az amerikai hadsereg sérültjeinek 27,6%-át, a német és angol-francia csapatok 2,8–3,1%-át a gázsérülések tették ki. A gáztámadások végrehajtásába bevont alkalmazók létszáma körülbelül 15 000 fő volt. [17]

2. táblázat: Az I. világháborúban kifejlesztett vegyi fegyverek (a szerző szerkesztése)

Név	Klörgáz (Cl ₂)	Foszgén (COCl ₂)	Mustárgáz (C ₄ H ₈ Cl ₂ S)	Lewisit (C ₂ H ₂ AsCl ₃)
Hatás	fojtó	fojtó	hólyaghúzó	hólyaghúzó
Halálos koncentráció mg/l	30 perces kitettség esetén:			
	2,53	0,36	0,07	0,48
Illat	átható	mint a friss szalma	mint a fokhagyma, torma	mint a muskátli
Védekezés módja	gázálc	gázálc	gázálc és védőruha	gázálc és védőruha

A VEGYIVÉDELMI SZOLGÁLAT MEGSZÜLETÉSE

A katonák gyűlöltek a gázt, jobban, mint bármiféle más fegyvert, hiszen a lövészárkok-háború éppen elég borzalmas volt e nélkül is. A gáz elől nem volt hová menekülniük, és a „saját” gáz éppen olyan veszedelmes volt, mint az ellenségé.

A vegyi fegyverek alkalmazása szükségszerűen létrehozta a védelem eljárásrendjét, valamint gyakorlatát. Az elméleti és a gyakorlati tevékenységet kezdetben egy szűk csoport, majd később egy ún. „gázvédelmi szolgálat” irányította és hajtotta végre.

A hadviselő felek túlnyomó többségében a szolgálat az alábbiak szerint tagozódott:

- központi „gázvédelmi szolgálat”,
- magasabb parancsnokságok (seregtestek, hadtestek, hadosztályok, ezredek) „gázvédelmi tisztjei” („gáz-tiszt”),
- alegységek (osztályok, zászlóalj) „gázvédelmi altisztjei” („gázaltiszt”). [18; 10–11. o.]

A központi „gázvédelmi szolgálat” dolgozta ki a védelmi rendszabályok általános és szakmai elméletét, irányította a vegyivédelmi technikai eszközök kutatását és fejlesztését, feldolgozta a mérgező harcanyagok alkalmazásával kapcsolatos tapasztalatokat, és kapcsolatot tartott a hadsereg vezetésével, illetve a kutatásba, fejlesztésbe, gyártásba bevont polgári szervezetekkel. A technikai kiszolgáláson kívül természetesen a „gázaltisztek” vezették az alegységek „gázvédelmi” kiképzését is. [8]

Az Osztrák–Magyar Monarchia hadseregében a *Harcászati szabályzat I. rész 2. füzet* már tárgyalta a „gáz” alkalmazását, annak célját, hatását, valamint ismertette a gázharceszközöket, a gázvédelemet és a gázkészültséget (67. paragrafus). [9; 14. o.]

ÚJ BEOSZTÁS MEGJELENÉSE: A GÁZTISZTEK

A vegyiszolgálat feladatait – az akkori elnevezés szerint a gázvédő szolgálatot – a gázaltisztek látták el. Az I. világháború alatt a csapatoknál gázaltiszteknek olyan idősebb, korabeli szakszóval „alantas” tiszteteket osztottak be, akik gázaltishti tanfolyamot végeztek, és erre a feladatkörre alkalmasnak mutatkoztak. Hadsereggázaltisztek tényleges állományú százados, vagy rangban fiatalabb törzstiszteket (ma főtiszt) neveztek ki. A gázaltisztek a századok (ütegek) és a

6. ábra. Gázaltisztek Várpalotán (Fotó: HM HIM, 44.298)



7. ábra. Gázkamragyakorlat (Fotó: HM HIM, 44.311)

zászlóalj (osztályok) állományába tartoztak. A gázaltisztek alárendeltsége kettős volt, szakmai vonatkozásban az előjáró gázaltiszt alárendeltségében álltak, míg saját alakulatuk biztosításával kapcsolatban a parancsnok közvetlen szolgálati alárendeltségébe tartoztak. [9; 17. o.]

AZ OSZTRÁK–MAGYAR GÁZZÁSZLÓALJ FELÁLLÍTÁSA ÉS TEVÉKENYSÉGE

A gáztámadás kedvező tapasztalatai alapján a Monarchia hadvezetősége egy saját gázzászlóalj felállításáról döntött. Az egység először a különleges árkászászlóalj nevet kapta, később titokvédelmi szempontokra hivatkozva, az elnevezést 62. árkászászlóaljra módosították. 1916 januárjától a Duna menti Krems (Krems an der Donau, Alsó-Ausztria) városa adott otthont a gázcsapat kiképzőközpontjának. Márciusban Maxilian von Ow utászszerződés parancsnoksága alatt megalakult a német mintájú gázzászlóalj 1200 fő sor- és tartalékos honvéddel, valamint hatvan tiszttel. Szervezetébe négy gázszázad, időjárásfigyelő- és jelzőosztály, távbeszélőosztály, szerelőosztály, pót-század a kiképzőiskolával és a törzs tartozott. Az alapítással járó logisztikai nehézségek csak május végére tették lehetővé a zászlóalj olasz arcvonalra történő szállítását. [19; 11–17. o.]

A harci gázok legjelentősebb bevetése a Doberdó-fennsíkön található Monte San Micheléhez kapcsolódik. A fennsík észak-nyugati részén a saját peremvonal magasabban húzódott az olaszok állásainál, és ez a helyzet kedvező lehetőséget biztosított egy gáztámadáshoz. Kedvezőtlenek voltak azonban a terepviszonyok (sziklás talaj), valamint gondot jelentett az ellenséges állások közelsége (kb. 30 m). Ez utóbbi tény miatt félték, hogy az előkészületekkel járó zaj felfedi a támadást.

Összesen kb. 6000 db gázpalackot építettek be talajba nyolc éjszaka alatt. Június 29-én hajnali 5 órakor a VII. hadtest alárendeltségében sor került az első fűvéljárással végrehajtott gáztámadásra. Mivel az olaszok nagy erőket vontak előre, a veszteség jelentős volt, az akkori tudósítások 5-6000 halottról számoltak be. A rosszul szervezett kiértesítő rendszer miatt a gáztelepek különböző időpontokban kezdték meg a „gázfúvást”. A kialakult gázfelhő kissé szakadozott volt, amelyet a délkeleti irányú, 1 m/s sebességű egyenletes szél szabad szemmel is láthatóan, az Isonzón túlra sodort. Az előző napokon támadó olaszok, helyenként bejutottak a Monarchia állásaiba. Tapasztalatok hiányában azonban nem ismerték fel a gáztá-





8. ábra. Gázfúvás az olasz hadszíntéren (Fotó: HM HIM, HTM-19299)

madási előkészületeket, s a harcnapok végén védőintézkedéseket nem tettek. [21]

A sikeres gáztámadást az osztrák-magyar csapatok harcászati szempontból azonban nem tudták kihasználni, mert nem álltak rendelkezésre erős tartalékok, a gyalogság egészét nem látták el gázálarccal, a sziklás terepen a gáztelepek között kénytelenek voltak hézagokat hagyni, valamint a parancsnokok helyzetmegítélésében jókora eltérések mutatkoztak, ennek következtében a gyalogság ellentámadása túl korán kezdődött. [9; 18–19. o.] A korabeli értékelés szerint azonban e gáztámadás nagymértékben befolyásolta Luigi Cadorna olasz főparancsnokot abban, hogy az immár hatodik isonzói csatát jelentő újabb olasz támadást elnapolja.

A gázpalackok felszedése után a gázszáradokat egymástól függetlenül az Isonzó-arcvonal különböző részein műszaki munkálatok végzésére vezényelték. Július második felében a zászlóaljat anyagfeltöltés és további kiképzés céljából Kremsbe szállították.

A november eleje újra az olasz arcvonalon találta az alakulatot, azonban az időközben leesett nagy mennyiségű hó miatt a gáztámadásról végképp le kellett mondani. A nehéz munkával beépített gázpalackokat újra málházták és vízszatértek Kremsbe.

Év végén a keleti arcvonalra szállították a zászlóalj, ahol gáztámadásokat hajtottak végre a mai lengyel-belorusz határ közelében, valamint Minszktől nyugati, délnyugati irányban 200 km-re, Lida város környékén. Első alkalmazásukra az orosz karácsony éjszakáján került sor, dermesztő mínusz 20–30 °C-os hőmérsékletben. A száradok külön-külön tevékenykedve még mindig a fúvóeljárást alkalmazták. Általában 1–3 km-es peremvonalszakaszon 2–3 ezer gázpalackot ástak be a csontkeményre fagyott földbe. A hideg miatt a palackok 20–25 perc alatt ürültek ki és a mérgező felhő gyakorta jól láthatóan telepedett rá az ellenes állásokra és a polgári településekre. Az idő múlásával az oroszok egyre elővigyázatosabbak lettek. A gáz észlelésekor rakétajelekkel, kongatással, kürttel gázriadót rendeltek el, valamint szalmatüzek gyújtásával igyekeztek a gázfelhőt felemelkedésre kényszeríteni. A bekövetkezett orosz politikai változások a keleti hadszíntéren a fegyveres

küzdelem végét jelentették. A helyzet a k. u. k. gázalakulat kivonását és áthelyezését tette szükségessé.

A gázzászlóalj május végén érkezett meg a 10. isonzói csata színhelyére, ahol október végéig hagyományos utász (műszaki) szolgálatot látott el. Eközben az antant új gáztámadási eljárást dolgozott ki: a gázvetést. A módszer alap eszköze a Livens-vetőcső, egy kb. 1 m hosszúságú fémcső volt, amelyet 45°-os szögben a földbe ástak. Számos ilyen csövet állítottak fel sorban egymás mellett. Mindegyiket megtöltötték egy-egy 14 kg-os gáztartállyal, majd egy elektromos úton indított töltettel kilőtték a tartályokat a csőből, amelyek mintegy 1–1,5 km-re repültek. A tartályokat időzített piropatronok nyitották fel a becsapódás pillanatában.

A németek azonnal átvették az eljárást, majd a Monarchia hadvezetése is lépett: 1917 végén elrendelte saját zászlóaljának továbbképzését. A gázvédőtisztek egy része Münsterben tanulmányozta az új harceljárást, majd a zászlóalj olasz területen vonták össze és képezték ki. 1918 elején megkezdődött a szükséges eszközök és anyagok beszerzése.

Mindezek ellenére, 1918 áprilisában a már egyértelműen elavult fúvóeljárás végrehajtását rendelte el a főparancsnokság az olasz arcvonalon. A nagy anyagkészlet miatt ez lett volna a világháború legnagyobb gáztámadása ezzel az eljárással. 9 km szélességben, 5 nap alatt 14 000 db gázpalackot építettek be. Öt héten keresztül minden éjjel várta a kedvező meteorológiai körülményeket, de folyamatosan esett az eső. Mivel a tavasz előrehaladtával a terepen a növényzet elburjánzott és az állandó esőzés következtében a gázpalackok rozsdásodni kezdtek, az akciót leállították, s az anyagokat, eszközöket ismét szállítóeszközökre málházták.

1918 nyári hónapjaiban a zászlóalj fele a hagyományos műszaki biztosítási feladatok ellátását kapta feladatul a Piave mentén. A másik két század Dél-Tirolban gázvetőtámadásra készült, ám a bizonytalan ipari helyzet miatt a szükséges anyagok nem érkeztek meg időben, így ez a művelet is elmaradt. A 6. hadsereg parancsnoksága még egyszer kísérletet tett a zászlóalj összevonására, további kiképzésére és tervbe vette későbbi harcbavetését olasz területen. Erre azonban nem került sor és 1918. október



9. ábra. A brit 55. hadosztály ideiglenesen megvakult katonái Bethune közelében, 1918. április 10-én [22]

31-én, támadóanyagának megsemmisítése után a Monarchia egyetlen gázzászlóalja megkezdte a visszavonulást. Végkifejletként november 6-án a délszláv hatóságok feloszlátottnak nyilvánították a zászlóaljat. [9; 20–21. o.]

ÖSSZEZÉS

A gázfegyverek megjelenése maga után vonta az ellenük történő védekezés eszközeinek és eljárásrendjének kifejlesztését. A „gázvédelmi” feladatokat kezdetben speciálisan kiképzett műszaki (utász-) alakulatok látták el, az I. világháború után pedig az összetett feladatrendszer miatt a legtöbb hadseregben megjelent az önálló vegyivédelmi szakszolgálat.

Bár a gázálc az első világháború egyik szimbólumává vált, a harci gázok korántsem voltak olyan hatékony fegyverek, mint azt alkalmazói remélték: nehézkes volt a kezelése, és a szemben álló felek viszonylag gyorsan megtanultak védekezni ellenük (kivéve például az oroszokat, akik a háború végéig sem látták el gázmaszkokkal a katonákat). A harci gázzal okozott sebesülések mintegy 1,3 millió főt érintettek, közülük mintegy 90-100 ezren haltak meg. [20] Ezek az adatok azt mutatják, hogy a vegyi fegyverek nem bizonyultak hatékonyak, ellenben nagyon sok szenvedést és félelmet okoztak. (9. ábra.)

HIVATKOZOTT IRODALOM

- [1] „1913. évi XLIII. Törvénycikk (Hatályos: 1913. 09. 05.) Az első két nemzetközi békeértekezleten megállapított több egyezmény és nyilatkozat becikkelyezése tárgyában.” *Nemzeti Jogszabálytár*. elérés: 2020.04.04. http://njt.hu/cgi_bin/njt_doc.cgi?docid=28.29;
- [2] Grósz Zoltán – Juhász László, „A gázharc, a gázvédelem fejlődése és tevékenysége a magyar királyi honvédségben 1914–1945 között” Elérés: 2020.03.26. http://eod66.ucoz.hu/publ/egyeb_cikkek/a_gazharc_a_gazvedelem_fejlodesere/3-1-0-1;
- [3] Szűcs László, „Tíz alkalom amikor vegyi fegyvereket használtak” *Honvédelem.hu* 2016.03.26. <https://honvedelem.hu/hatter/tiz-alkalom-amikor-vegyi-fegyvereket-hasznaltak>;
- [4] „Fritz Haber Biographical” *Nobel Lectures, Chemistry 1901-1921*, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1966. Elérés: 2021. 03. 22. <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1918/haber/biographical>;
- [5] Tarján M. Tamás, „1915. április 22. „Először vetnek be mérges gázt a nyugati fronton” *Rubicon Online*. Elérés: 2020. 03. 25. http://www.rubicon.hu/magyar/oldalak/1915_aprilis_22_eloszor_vetnek_be_merges_gaszt_a_nyugati_fronton;
- [6] Feith László, „Száz éve kezdődött a vegyi hadviselés” *Honvédelem.hu*, 2015.04.22. <https://honvedelem.hu/hatter/szaz-eve-kezdodott-a-vegyi-hadviseles>;
- [7] Shirley D. Tuorinsky (ed.), *Medical Aspects of Chemical Warfare*, AN, US Army Medical Research Institute of Chemical Defense.;
- [8] Kiss Gábor, „Harci gázok alkalmazása az I. világháborúban” *A Nagy Háború írásban és képen* 2013.01.02. Elérés: 2021. 03. 22. https://nagyhaboru.blog.hu/2013/01/02/harci_gazok_alkalmazasa_az_elo_vilaghaboruban;
- [9] Simon Ákos, *A magyar vegyivédelmi szolgálat története*, főiskolai jegyzet, 1997;
- [10] James Patton, „Gas in the Great War,” University of Kansas Medical Center. Elérés: 2021. 03. 22. <http://www.kumc.edu/wwi/medicine/gas-in-the-great-war.html>;
- [11] Szombati Zoltán, „A vegyifegyverek hatása az egyéni védőeszközök fejlődésére az I. világháborúban,” *Hadmérnök*, 4. évfolyam 1. szám, (2009. március);
- [12] Gerard J Fitzgerald, „Chemical Warfare and Medical Response During World War I”. *American Journal of Public Health* 98, sz. 4 (2008. április): 611–25. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2007.111930>.
- [13] Kovács Vilmos, *A Magyar Királyi Honvédség vegyi harcanyagokkal töltött tüzérségi lövedékei 1913-1944 Hadtörténelmi Közlemények* 105. évf, 3. sz. (1992). <http://epa.oszk.hu/00000/00018/00002/pdf/04kovacs.pdf>;
- [14] https://www.alamy.com/stock-photo-wwi-nurses-wearing-gas-masks-1916-135092331.html?irclickid=XurOPYU18xyLRjL0EOSREQreUkEQ%3ApQf4RaByk0&irgwc=1&utm_source=77643&utm_campaign=Shop%20Royalty%20Free%20at%20Alamy&utm_medium=impact letöltés ideje: 2021.03.09.;
- [15] Háború Művészete, „A vegyi fegyverek története I.”, 2006. 02. 02. [https://www.haborumuveszete.hu/minden-ami-robban-es-mergez/127-a-vegyi-fegyverek-tortenete-i.](https://www.haborumuveszete.hu/minden-ami-robban-es-mergez/127-a-vegyi-fegyverek-tortenete-i;);
- [16] Kátai-Urbán Lajos – Teknős László, „Vegyi fegyver alkalmazása az első világháborúban,” *Hadtudomány* 24. évf, 1-2 szám (2014) http://mhht.eu/hadtudomany/2014/1_2/2014_1_2_6.pdf;
- [17] Náray Nárái Antal, *A korszerű honvédelem kérdései*, Budapest: Pallas, 1933;
- [18] Lohn Ferenc, *A vegyiszolgálat fejlődése napjainkig*, jegyzet, ZMKA, 1972.;
- [19] Somodi Tibor, „Vegyicsapatok az Osztrák-Magyar Monarchiában,” *Új Honvédségi Szemle* 49, 10. szám (1995);
- [20] Mindy Weisberger, „World War I Unleashed Chemical Weapons and Changed Modern Warfare” *Live Science* 2017.04.06. <https://www.livescience.com/58569-chemical-weapons-world-war-one.html>;
- [21] Berek Tamás, „Az Osztrák-Magyar Monarchia hadseregének első gáztámadása az olasz hadszíntéren,” *Bolyai Szemle* 13., 1. (2004): 85–95;
- [22] <https://wordandsilence.com/2019/08/14/blindness-war-history-2/> letöltés ideje: 2021.03.10.

CONTENTS

STUDIES

The Impact of Modern Electronic Combat Equipment on Radar Systems	2
Virtual Reality and the Armed Forces – Development History, Part 2	8
Electric Propulsion of Airplanes – Necessity with Compromises, Part 4	17
Safety indicators as a basis for increasing the resilience of critical infrastructure	25

INTERNATIONAL MILTECH REVIEW

Use of Armed Cars in the African and other Local Armed Conflicts, Part 2	31
New Generation SDRs of Bundeswehr Forces Offered in NATO VJTF	35
The Airbus Factory in Donauwörth, Part 2	39

SPACE ACTIVITIES

Lunar Rovers and Martian Vehicles, Part 1	44
---	----

DOMESTIC SURVEY

Midfrequency Impulse Compression Transmission Signal Generator and Receiver Signal Processor System of Radar Devices	50
Gidrán – The Introduction of an Improved Mine Protected Fighting Vehicle in the Hungarian Defence Forces	57
The New Control System of Ground Deployed Air-Defense	64

MILTECH HISTORY

Birth of a New Corp in the WW I – The Chemical Corps	70
--	----

INHALTVERZEICHNIS

STUDIEN

Einfluss der modernen elektronischen Kampfmittel auf die Radarsysteme	2
Virtuelle Realität und Streitkräfte – Entwicklungsgeschichte, Teil II.	8
Elektrischer Antrieb von Flugzeugen – eine Notwendigkeit mit Kompromissen, Teil IV.	17
Erhöhung der Widerstandsfähigkeit kritischer Infrastrukturen anhand von Sicherheitsindikatoren	25

INTERNATIONALE WEHRTECHNISCHE RUNDSCHAU

Einsatz bewaffneter Fahrzeuge in afrikanischen und anderen lokalen Konflikten, Teil II.	31
Software-Radios der nächsten Generation für Bundeswehrkräfte, die der NATO VJTF angeboten werden	35
Das Airbus Werk in Donauwörth, Teil II.	39

RAUMFAHRTTECHNIK

Lunar Roving Vehicles (LRV) und Mars Exploration Rovers (MER), Teil I.	44
--	----

HEIMATSCHAU

Mittelfrequenz-Impulskompressionssender-Signalgenerator und Empfängersignalverarbeitungssystem der Radargeräte	50
Das Gidrán – Ein Kampffahrzeugs mit erhöhtem Minenschutz bei den Ungarischen Streitkräften, Teil I.	57
Neues Führungssystem der bodengestützten Luftverteidigung	64

GESCHICHTE FÜR WEHRTECHNIK

Die Geburt einer neuer Spezialtruppe im Ersten Weltkrieg: Chemische Verteidigung	70
--	----

A címképünkön: A Gidrán, egy MRAP, azaz növelt akna és improvizált robbanóeszköz elleni védelemmel ellátott harcjármű. A Magyar Honvédség a járművekhez az ASELSAN SEDA-V akusztikus lövésdetektort is megvásárolta. (Fotó: HM Zrínyi Nonprofit Kft./ honvedelem.hu)

Borító 2: Fent: A jövő katonája a virtuális térben (konceptiókép) (Fotó: hdwallpapers.in) Lent: VR-funkciókkal felvértezett harcszsimulátor. A képen a VR katonai alkalmazásának egyik változata, a DSTS harcszsimulátor látható (Fotó: wareable.com)

Borító 3: A NASA Curiosity marsjárója 2553. marsi munkanapján, 2019. október 11-én készítette ezt a felvételt saját magáról. A Curiosity rendszeresen készített hasonló szelfiket, ezeket több felvételtől állították össze (a belső borítón szereplő fotót 57 db képből). A háttérben, a jármű mögött mintegy 300 m távolságban a Vera Rubin-hegygerinc látható (Fotó: NASA/JPL-Caltech/MSSS)

Szerzőink figyelmébe

A szerkesztőség két független lektorral ellenőrizteti a beküldött kéziratokat és plágiumellenőrzésnek veti alá azokat. A cikkeknek tartalmaznia kell: egy max. 6-10 soros összefoglalást és 5 kulcsszót magyar és angol nyelven is, illetve a cím angol nyelvű fordítását. Lapunk szerzőinek nevénél lábjegyzetben fel kell tüntetni: a szerző e-mail címét és Orcid azonosítóját (www.orcid.org oldalon kérhető), továbbá a szerző munkahelyét, intézményi kötődését angol és magyar nyelven (illetve tudományos fokozatát – ha ilyenrel rendelkezik). A kéziratot csak a felhasználó irodalmak megjelölésével fogadjuk el. Ha a hivatkozott irodalmi forrás rendelkezik DOI azonosítóval, azt kérjük feltüntetni.

A hivatkozásokra vonatkozó szabály, hogy egyetlen olyan forrás se szerepeljen a felhasználó irodalom jegyzékében, amelyre a szerző a törzsszövegben nem hivatkozik. A szerzői jogra (copyright) vonatkozó jogok és kötelezettségek, továbbá a tiszteletdíj a kiadói szerződésben kerülnek szabályozásra. A cikkeket a haditechnika@hm.gov.hu e-mail-címre várjuk. A Haditechnika folyóirat cikkei a szerkesztőség feltölti a Magyar Tudományos Művek Tárába, emellett az elmúlt több mint 50 év lapszámai elérhetők az MTA REAL-J repozitóriumban: <http://real-j.mtak.hu/view/journal/Haditechnika.html>

Előfizetés

Éves előfizetési díj 3120 Ft.

Előfizetésben terjeszti a Magyar Posta Rt. Hírlap Üzletága, 1008 Budapest, Orczy tér 1.

Előfizethető valamennyi postán, kézbesítőknél,

e-mailen: hirlapelofizetes@posta.hu, faxon: 303-3440,

Stúdió könyvesbolt
1138 Bp., Népfürdő u. 15/D,
telefon/fax: 359-1964, 359-6461,
HM Zrínyi Nonprofit Kft.
Ügyfélszolgálat

Budapest II., Fillér u. 14.

Levél cím: 1276 Budapest 22, Pf. 85
telefon/fax: 212-4540

e-mail: ugyfelszolgalat@hmzrinyi.hu

További információ: 06 80/444-444

A folyóirat 2005-2015 közötti példányai megrendelhetőek a Zrínyi webshopban (www.hmzrinyi.hu/termekek/magazinok).

A Haditechnika megvásárolható

Líra Könyvárúháza, Récei Center
1146 Bp., Istvánmezei út 6.,
telefon: 411-1543

Stúdió könyvesbolt
1138 Bp., Népfürdő u. 15/D,
telefon/fax: 359-1964, 359-6461

HM Zrínyi Nkft.

Ügyfélszolgálat

Budapest II., Fillér u. 14.

Nyitvatartás: H.–P. 9:00–16:30 óra

ugyfelszolgalat@hmzrinyi.hu



IRANYASEREG.HU

A MAGYAR HONVÉDSÉG KARRIEROLDALA

TARTOZZ KÖZÉNK ÉS
VÁLASZD A BÁTRAK ÚTJÁT!

