

A múlt, a jelen és a jövő fegyverei

HADITECHNIKA

2022/6

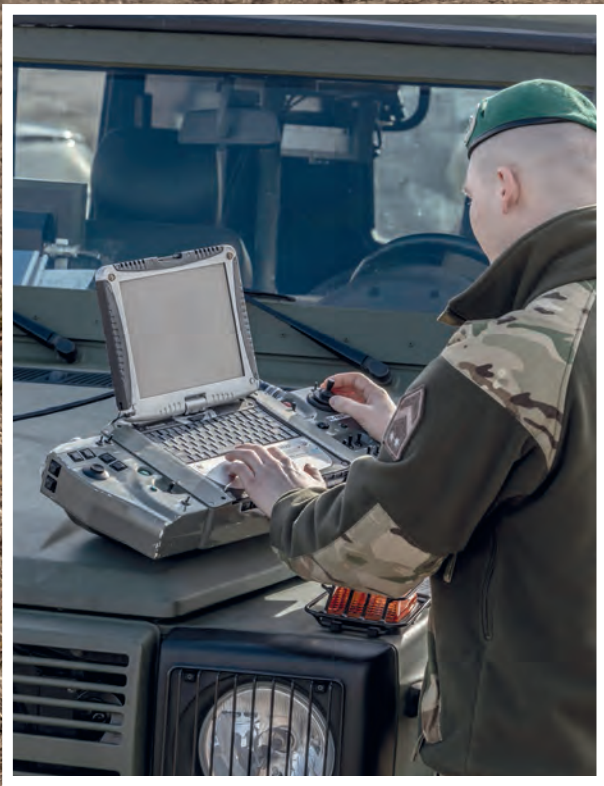
LVI. évfolyam 6. szám

Ára 520 Ft

A Leopard 2A7 alapharckocsi



Posztermelléklettel!



A MAGYAR HONVÉDSÉG MŰSZAKI-TUDOMÁNYOS ÉS ISMERETTERJESZTŐ FOLYÓIRATA

Az MTA által minősített folyóirat

2022/6. szám.
LVI. évfolyam

Tulajdonos:

Bozó Tibor vezérőrnagy

A szerkesztőbizottság elnöke:

Dr. Porkoláb Imre dandártábornok
(HM Védelmi Innovációs és Képességfejlesztési
Főosztály főosztályvezető)

A szerkesztőbizottság alelnöke:

Bárány Zoltán Gábor ezredes

Főszerkesztő:

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

A szerkesztőbizottság tagjai:

Dr. Both Előd

(Magyar Asztronautikai Társaság)

Dr. habil. Gyarmati József ezredes (NKE HHK)

Prof. dr. Haig Zsolt ezredes (NKE HHK KMDI)

Dr. Hajdú Ferenc ezredes (MH HTP)

Kaposvári László vezérőrnagy (MHP LGCSF)

Prof. dr. Kiss Péter

(Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem)

Prof. dr. Kovács László dandártábornok

(MHP HSZ)

Dr. Koller József dandártábornok (MH 86. SZHB)

Könczöl Ferenc ezredes (MH 12. ALRE)

Lengyel Csaba ezredes

(MHP HSZ)

Magyar Ferenc (ITM)

Dr. Németh András alezredes (NKE HHK)

Pachner Róbert

(HM CURRUS Zrt. és HM ARMCOM Zrt.)

Prof. dr. Rohács József CSc. (BME)

Solymosi Ferenc ezredes (MH TTP)

Szakácsi István alezredes

(MHP HSZ)

Dr. Trembeczki László András (HM El Zrt.)

Lektorai bizottság elnöke:

Dr. Keszthelyi Gyula ny. dandártábornok (MKLE)

Felelős szerkesztő:

Végvári Zsolt alezredes
(NKE HHK, MHTT, TÚK, MEE)

Szerkesztő:

Rojkó Annamária főtanácsos
(MÚOSZ, TÚK)

Katonai szerkesztő:

Druzsín József őrnagy
(MHTT, TÚK, MKLE)

Szerkesztőasszisztens:

Drahos Gabriella (TÚK)

Kutatástámogató asszisztens:

Dari Nikolett (MH HTP)

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

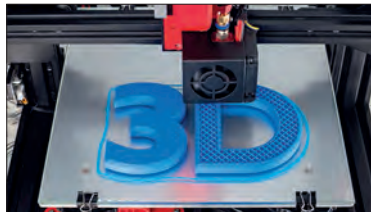
Dr. Németh András – Virágh
Krisztián: Mesterséges
intelligencia és haderő –
További polgári alkalmazási
lehetőségek VI. rész 2



Ember István: Modern kumulatív
töltetek hatékonyságának
vizsgálata 15



Végvári Zsolt – Dr. Hegedűs Ernő
– Dr. Zentay Péter:
A 3D-s nyomtatás és katonai
alkalmazásának lehetőségei
I. rész 56



Dr. Rohács József:
A személyrepülőgépek
biztonsága I. rész 64



TANULMÁNYOK

Dr. Kiss Roland: Oroszország
A2/AD képességei III. rész 8
Dr. Palik Mátyás – Dr. Rohács
József: UAV, UAS, RPA, drón,
robotrepülőgép – új
technológiák alkalmazása
II. rész 21

NEMZETKÖZI HADITECHNIKAI SZEMLE

Tóth András: A Leopard
harcocsi magyar típus-
változata: a Leopard 2A7HU 27
Ocskay István: A Párduc
harcocsi újjászületése:
a Panther KF51 33
Filipovics Alex: Az elektromos
és hibrid hajtásláncú személy-
és tehergépjárművek
alkalmazásának lehetőségei a
Magyar Honvédségben I. rész 40

ŰRTECHNIKA

Szabó Róbert: Űrtávcsövek
reneszánsza 47

HAZAI TÜKÖR

Dr. Hajdú Ferenc: Triális képzés
a had- és hadiipari mérnökök
új generációi számára 61

HADITECHNIKA-TÖRTÉNET

Dr. Varga Béla: A gázturbinás
korszak hajnala és a fejlesztés
nehézségei 67

Haditechnika folyóirat összesített
tartalomjegyzék,
56. évfolyam, 2022. 74

Olvasószerkesztő: Kádár M. György ■ **Nyomdai előkészítés:** HEXACO GNH Kft.

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

A **Haditechnika** kéthavonként nyomtatásban megjelenő folyóirat.

A szerkesztőség elérhetőségei:

1087 Budapest, Kerepesi út 29/B. ■ Telefon: +3630-773-7494 ■ haditechnika@hmzrinyi.hu
kiadvany.magyarhonvedseg.hu/index.php/HT; <https://www.facebook.com/HTfolyoirat/>

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

34. ábra. Önvezető autók járműdinamikai vizsgálata a ZalaZone Járműipari Tesztpályán (Forrás: AVL-ZalaZONE)



Dr. Németh András* – Virágh Krisztián**

Mesterséges intelligencia és haderő – További polgári alkalmazási lehetőségek VI. rész

Tanulmányunk előző részében a mesterséges intelligencia (MI) katonai vetületekkel is rendelkező gyakorlati felhasználási lehetőségei közül a robotika, az egészségügy és a mezőgazdaság területeit vettük górcső alá, ezúttal a közlekedésben, közigazgatásban és az oktatásban történő alkalmazásokra fókuszálunk.

Közlekedés

A robotikához is szorosan kapcsolódó területek egyike – ahol az MI egyre szélesebb körben érezteti hatását akár napjainkban is – a közlekedés, amely tágran értelmezve rendelkezik szárazföldi, vízi, víz alatti, légi, sőt űr dimenziókkal is. Jelen tanulmányban elsősorban a legtöbbször életét befolyásoló szárazföldi, azon belül is a közúti közlekedés területével foglalkozunk. Bár attól még messze vagyunk, hogy önvezető járművek uralják útjainkat, a jövő idő használata mégsem indokolt, hiszen az egyre „okosabb” közlekedési eszközök már hosszú évek óta segítik a személyek és az áruk biztonságos szállítását. Mesterséges intelligencián alapulnak például a különböző intelligens parkolási rendszerek, a sávváltó és sávtartó, vagy éppen a holtterfigyelő rendszerek. [121] Az MI azonban nemcsak asszisz-

tenciát nyújtó megoldásokat kínál, hanem navigációs és útvonaltervező, valamint a környezetérzékelést és a járműirányítást befolyásoló rendszereket is képes vezérelni. Ez utóbbi négy rendszer képezi az alapját a járművek önvezető képességének, ahol a teljes autonómiával rendelkező tesztmodellek már emberi beavatkozás nélkül is képesek közlekedni⁸. [122] Ilyen járműveket ma már sok vállalat fejleszt, amelyek közül talán a két legismertebb a Google és a Tesla. Ugyanakkor az ilyen eszközök elterjedése talán nem is elsősorban műszaki, mint inkább egy különösen bonyolult jogi problémakör. Várhatóan már csak idő kérdése, hogy minden országban megszülessen az önvezető járművek forgalomba állításához szükséges szabályozási környezet. Magyarországon a kutatóintézetek és a gyártók jelenleg az arra kijelölt tesztkörnyezetben folytathatnak kísérleteket önvezető járművekkel, amelyet a zalaegerszegi nagy méretű járműipari tesztpálya, a ZalaZone biztosít számukra. (34., 35. ábra) [123]

Az önvezető járművek alkalmazásának számos előnye ismert, közülük a legfontosabb, hogy csökken a közlekedési balesetek kockázata, amelyek 90%-át emberi mulasztás, illetve érzelmi faktorok okozzák. [125] Amennyiben ezek hatását sikerül kiküszöbölni, a balesetek száma is jelentősen lecsökken majd. Ugyanakkor a különböző gépi

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

** Cybersecurity Architect, Thyssenkrupp Components Technology Hungary, Product Cybersecurity Department. ORCID: 0000-0003-4184-9492



35. ábra. Őnvezető autó a ZalaZone tesztpályán [124]

tanulással fejlesztett szenzor- és kamerarendszerek is az embernél sokkal hatékonyabban képesek érzékelni a környezetet, amely a válaszreakciók optimalizálásában is nagy segítséget jelent. [126] A biztonságérzet fokozása mellett ma már természetesen a kényelem is fontos szempont. A vezetésre szánt idő egy teljes autonómiával rendelkező jármű esetében felszabadul, amelyet az emberek az általuk kívánt módon tudnak majd eltölteni [127] például alvással, relaxációval, távmunkával, tanulással. Közös hálózatra csatlakozó Őnvezető járművekkel lehetséges a forgalmi dugók kialakulásának elkerülése és az üzemanyag-fogyasztás optimalizációja is [125], amellyel hozzájárulhatunk a Párizsi Klímavédelmi Megállapodáson⁹ alapuló európai uniós terv megvalósításához. Az elképzelés szerint 2030-ra az 1990-es évi szinthez képest 40%-kal, 2050-re 80-95%-kal kell csökkenteni a tagállamok károsanyag-kibocsátását [128], ezzel közelebb kerülve a klímaseleges állapothoz. Ehhez kapcsolódóan az is elképzelhető a jövőben, hogy szén-dioxid-érzékelőket, illetve egyéb gázszenzorokkal is ellátják majd a járműveket, amelyek így az egymással megosztott adatok figyelembevételével tervezhetik az útvonalukat oly módon, hogy elkerüljék a szennyezettebb, vagy a levegőminőség szempontjából védelemre szoruló területeket. Egy 2019-es jelentés szerint ugyanis az EU-ban 2017-ben az üvegházhatású gázok 27%-a közlekedésből származott [129], amelyből körülbelül 80% szén-dioxid [130], így az annak csökkentésére irányuló erőfeszítés indokolt a globális felmelegedés lassítása érdekében.

A közlekedés jövője szempontjából a következő lépcsőfokot az okos közlekedés jelenti, amely egy teljesen automatizált, emberi beavatkozás nélküli, mesterséges intelligencia által vezérelt komplex forgalommenedzsment rendszert jelent. Ennek központi elemét egy valós időben frissülő, felhő alapú adatbázis képezi, ahová a közlekedés minden szereplője, a résztvevő eszközök, járművek és stationer szenzorrendszerek feltöltik az érzékelők által gyűjtött adatokat, illetve a közútkézelők, valamint a hatóságok a műszaki akadályokról, korlátozásokról szóló jelzéseket. Ez alapján a területi elven szerveződő, MI-alapú forgalomirányítási rendszer képes akár központilag is beavatkozni a járművek mozgásába annak érdekében, hogy adott körülmények között optimalizálja a forgalmat.

A mesterséges intelligencia egy új dimenziót is megnyithat majd a közlekedésben, a közutak feletti légi közlekedés (légi folyosók) lehetőségét. Bár a repülő autók ötlete számos tudományos fantasztikus irodalomban megjelent már, napjainkban egyetlen hasonló eszköz sincs még forgalomban, mivel az ilyen irányú fejlesztések a terület szenzitivitása



36. ábra. Okos közlekedés – koncepcióábra [131]

– elsősorban biztonsági szempontok miatt – még nem mutatkozik prioritásnak. A közútihoz képest, a levegőben történő közlekedés térben plusz egy dimenziót jelent, amely jelentősen megnöveli a megoldandó problémák komplexitását. Pilóta nélküli légi járműveket bár manapság is egyre nagyobb számban alkalmaznak például a közfeladatok ellátása során [132], az iparban, a mezőgazdaságban, vagy éppen a csomagszállításban, és fejlesztettek már személyszállításra alkalmas eszközöket is (dróntaxi) [133], a közlekedési rendszerbe történő integrálásuk technológiai korlátok [134] és jogi szabályozási hiányosságok miatt még várat magára. A fenti párhuzam ellenére a repülő autók és a pilóta nélküli légi járművek területét ugyanakkor sok szempontból továbbra is célszerű külön kezelni. A repülő autó közlekedési formát véleményünk szerint nem kellene elérhetővé tenni bárki részére, helyette a közfeladatokat ellátó szervezetek – különös tekintettel a rendőrség, a tűzoltóság és a mentőszolgálat – járművei számára kellene megnyitni a közutak feletti légi folyosókat, hogy riasztás esetén minél rövidebb időn belül a helyszínre érhesse.

A szárazföldi közlekedésnek ugyanakkor van egy speciális területe is, amelynek különleges alkalmazások esetén lehet létjogosultsága. Ez nem más, mint a terepjáró képességgel rendelkező autonóm eszközök világa, amelyek használata nem kötött a kiépített közúthálózathoz. Ilyen követelményeknek megfelelő eszközökre elsősorban katonai műveletekben, illetve azok támogatása során jelentkezhet igény. [135]

Az Őnvezető járművek elterjedéséhez azonban nem elég a technológia fejlesztése, szükség van új közlekedési szabályok kidolgozására, az infrastrukturális háttér megteremtésére, az emberek szemléletmódjának átalakítására, elsősorban annak érdekében, hogy megbiznának az ilyen típusú eszközökben. Véleményünk szerint az Őnvezető járművek elterjedése már ebben az évtizedben megkezdődik, míg az okos közlekedés és a közutak feletti alacsony magasságú légtérhasználat feltételei inkább csak az évszázad második felében lesznek adottak. Jelenleg Európában ma még csak azon a szinten állunk, hogy biztonsággal használunk különböző vezetéstámogató rendszereket, illetve kontrollált körülmények között zajlanak különböző Őnvezető járművek tesztjei.

KÖZIGAZGATÁS

Magyarországon az utóbbi tíz évben több program zajlott a közigazgatás modernizálása érdekében. 2011-től a Magyar Zoltán Közigazgatás-fejlesztési Program keretében széles spektrumban hajtottak végre rendszerszintű



változtatásokat. [136] Ennek szellemiségéből merített a Közszolgáltatás-fejlesztési Stratégia (KKFS) 2014–2020, amely a magyar közigazgatás megújításának tovább gondolt változata. A dokumentumban nagy hangsúlyt helyeztek az elektronikus szolgáltatások fejlesztésére és a kiszolgáló rendszerek egységesítésére, amellyel a „Digitális Állam” elképzelés megvalósítását kívánták elérni egy jól működő e-közigazgatási rendszer kialakításával. A fejlesztések magukba foglalták a közigazgatáshoz kapcsolódó adatbázisok összehangolását és az ügyfélközpontú közigazgatás informatikai támogatásának megteremtését. [137] Ezen elemek megjelentek a Digitális Jólét Program (DJP) 2.0-ban is, amelynek céljait 2017-től kezdték megvalósítani. [138] A mesterséges intelligencia egyre szélesebb körű alkalmazása jelentősen hozzá fog járulni a fenti programokban felvázolt e-közigazgatás hatékony működtetéséhez. E cikksorozatban, az egészségügyet és a közlekedést tárgyaló fejezetekben leírtakhoz hasonlóan, itt is egy integrált adatbázis lehet majd a rendszer alapja, amelynek kezelését alapvetően az MI, részben pedig adminisztrációs munkatársak végzik. A tanulmányunk korábbi részében említett szakértői rendszerek pénzügyekben történő alkalmazása ugyanakkor további támogatást jelenthet a célok eléréséhez, amelyre már nemzetközi példákat is találhatunk akár a nyugdíj-, akár a társadalombiztosítás területén. [139] Az egyik legjelentősebb szegmens, ahol a kormányzati szervek szakértői, és más MI-rendszereket hatékonyan alkalmazhatnak, az adózás. Különböző „Big Data” eljárásokkal hatalmas mennyiségű adat biztosítható a fejlett analitikai képességekkel rendelkező mesterséges intelligenciák számára, amelyek képesek például a maximális értéknövekedés kiszámítására, és különböző feltételek teljesülése esetén történő elemzésére. [140] A fenti példák jól szemléltetik, hogy amennyiben hazánkban valóban szeretnénk megvalósítani a „Digitális Állam”¹⁰ koncepcióját, a mesterséges intelligenciának a közigazgatás és közpénzügyek területén egyre nagyobb szerepet kell szánni. Úgy véljük, hogy a Mesterséges Intelligencia Stratégia 2020–2030 keretei között ez a célkitűzés elérhető.

OKTATÁS

Egy nemzet jövője, fennmaradása és jóléte szempontjából a leghatékonyabb befektetés az oktatási rendszer és infrastruktúra folyamatos fejlesztése, ezért erre az első számú közügyként kell tekinteni. Ugyanakkor hazánkban az utóbbi évtizedekben azt tapasztalhatjuk, hogy az oktatás színvonala romlik, amit sajnos több nemzetközi felmérés is alátámaszt. Ilyen például a 2018-as PISA-felmérés (Programme for International Student Assessment – Nemzetközi Tanulói Teljesítménymérés Program), amely alapján oktatási rendszerünk teljesítménye OECD-átlag (Organization for Economic Co-operation and Development – Gazdasági Együttműködési és Fejlesztési Szervezet) alatti minősítést kapott a szövegértés, a matematika és a természettudományok területén végzett vizsgálatok eredményének összesítése után. [141] Bár korábbi tanulmányok (a PISA és az országos kompetenciamérés) jelentős összefüggést mutattak ki a családi háttér és a tanulói teljesítmény között, a felmérések szerint a tanulói képességekben mutatkozó különbségek legfeljebb 31,6%-át lehetett ezzel megmagyarázni. [142] A fennmaradó hányad tehát a tanuló egyéni képességeinek és az oktatási rendszer teljesítményének, az oktatás minőségének függvénye, amelyből meglátásunk szerint ez utóbbiban kell a probléma gyökerét keresnünk. Meggyőződésünk, hogy a napjainkban is domi-



37. ábra. Virtuális osztályterem [145]

náns „poroszos” szemlélet [143] ma már egyáltalán nem alkalmas arra, hogy a diákokat tanulásra, saját képességeik fejlesztésére ösztönözze, így a koncepció átalakítása mindenképpen indokolt lenne. A megoldást egy differenciált oktatási stratégia bevezetése jelentheti, amely sokkal eredményesebb lehet azáltal, hogy a középpontba – a tananyaggal szemben – az oktatás alanyát, magát a diákot állítja. Időszerűnek tűnik a kérdés, hogy létezhet-e egyáltalán olyan megoldás, amely akár alacsonyabb létszámú pedagóguskar esetén is megteremtheti a minőségi oktatás feltételeit, azaz például a mesterséges intelligencia segíthet-e – és ha igen, milyen formában –, egy hatékonyabb oktatási rendszer kialakításában. Két lehetőséget találtunk, amelyek akkor is működőképesek lehetnek, ha a jelenlegi rendszertől történő elszakadásunk nem következik be. Az egyik a távoktatás arányának drasztikus emelése, a másik a virtuális osztályterem, virtuális tanárok [144] és/vagy robottanárok alkalmazásának lehetősége. (37. ábra)

A távoktatással (vagy sok esetben inkább távolléti oktatással) kapcsolatban mára Magyarországon csaknem minden diák és tanár rendelkezik személyes tapasztalatokkal a COVID-19 következtében kialakult veszélyhelyzetben bevezetett intézkedések miatt. Távoktatás esetén a diák nem, vagy csak nagyon ritkán találkozik személyesen az oktatóival. Magas színvonalú, részletesen kidolgozott interaktív tananyagok, elektronikus, online tanórák és kurzusok bevezetésével enyhíteni lehetne a tanárok hiányának problémáját, mert a meglévő pedagógusok egyszerre akár egy időben több iskolában is képesek lehetnek órát tartani interneten keresztül, illetve az előre felvett oktatóvideók lejátszásához csupán egy felügyelő személyre lenne szükség. Természetesen ez a megoldás nem minden korosztály, tananyag, illetve készség fejlesztése esetén hatékony, illetve sok esetben az ismeretek ellenőrzése is komoly nehézséget okozhat. Ugyanakkor megnehezíti a diák–tanár interakciót is, hiszen minél több diák jut egy tanárra, annál kevesebb ideje marad a tanárnak egy-egy tanulóval személyre szabottan foglalkozni. Alapfokú oktatási intézmények alsó tagozatos osztályaiban a tanító személye meghatározó, ezért szerepe nélkülözhetetlen az oktatás folyamatában. Alternatív megoldásokról csak a felső tagozat, és a középfokú oktatási intézmények esetén célszerű gondolkodni, ahol sajnos egyre többször fordul elő, hogy egy szaktanárnak – helyettesítéskor – olyan tantárgyat kell oktatnia, illetve olyan foglalkozást megtartania, amelyhez nem rendelkezik megfelelő végzettséggel, tapasztalattal. Ez a megoldás természetesen nem biztosítja a tananyag hiteles közvetítését, és nem segíti a diákok felkészülését. Sőt, sok esetben továbbtanulásukat is veszélyezteti. Úgy véljük, hogy ennél lényegesen jobb megoldás egy szaktanárok által kidolgozott elektronikus oktatóanyag rendelkezésre bocsátása, és annak egyéni feldolgozásához konzultációs lehetőségek biztosítása.

Az ilyen típusú oktatási módszer előnye, hogy a tananyag bárki számára, bármikor rendelkezésre állhat, annyiszor lehet végighallgatni és elolvasni az előadásokat, jegyzeteket, illetve kitölteni a gyakorló feladatsorokat, ahányszor arra a diáknak szüksége van. Hátránya, hogy személytelen, nem adunk vele lehetőséget a tanár-diák viszony kialakulására, elmélyítésére, amely elengedhetetlen egy tantárgy, illetve tananyag megszerettetéséhez. A hagyományos és távoktatási módszerek optimális arányának kialakítása során figyelemmel kell lenni a diákok szellemi érettségére (évfolyamára, korára), és ökölszabály szerint az idő előre haladtával lehet a távoktatás arányát fokozatosan növelni. Az oktatás mellett ma már a számonkérés is lebonyolítható távolról, elektronikus formában. A fenti módszert kiegészítve olyan kognitív MI-rendszerek alkalmazásával, amelyek képesek megközelíteni az emberi gondolkodást, elemezni a szövegvagy környezetet és a kontextusokat, sőt akár az érzelmeiket is. A tanárok terhelése tovább csökkenthető azáltal, hogy az MI képes választ adni a feltett kérdésekre, vagy kijavítani egy a dolgozatot. Szociális MI-rendszerekkel akár még a szóbeli feleltetés is lehetségessé válna.

A második ötlet tulajdonképpen a fenti gondolatmenet folytatásának is tekinthető. Amennyiben a „hús-vér” tanárokat kivesszük a képletből, és az oktatást biológiai szempontból organikus szervezettel nem rendelkező eszközökre bizzuk. Egyik elgondolásunk szerint a virtuális, a kiterjesztett és a kevert valóság (VR, AR, MR) eszközeit felhasználva jeleníthetnénk meg a diákok számára egy virtuális oktatót, aki képes lenne számukra élményszerűen átadni a tananyagot. Ez részben a személytelenség problémáját küszöbölheti ki, illetve a szofisztikált rendszerek, technikai megoldások alkalmazása izgalmat is vihet a tanórákba, amely felkeltheti a diákok érdeklődését. A különböző alternatívvalóság-technológiák (VR, AR, MR) egyébként már több területen bizonyították létjogosultságukat [146], így az oktatás, képzés és kiképzés területén is [147], ugyanakkor a fenti elgondolás megvalósításához még komoly fejlesztésekre lenne szükség. Magas autonómiával rendelkező, hatékony kommunikációs megoldásokat alkalmazó MI-rendszerek fejlesztését igényli az ötlet gyakorlati megvalósítása. (38., 39. ábra)

A fejlesztés következő lépcsőfoka az oktató MI-robottestbe történő integrálása, azaz robottanárok alkalmazása lenne. Ez lényegesen bonyolultabb feladat, hiszen a szoftveres megoldások mellett a hardveres kivitelezésre, komplex mechatronikai megoldások alkalmazására is gondolni kell. Ha a robotokat emberi vonásokkal és tulajdonságokkal (érzelmeik, mimika, gesztikuláció) is felvértezzük, azaz humanoid robotokat alkalmazunk, akkor a diákok közelebbinek érezhetik majd magukhoz az oktatót. Az ilyen típusú megoldás természetesen segíthet az MI-k gyorsuló to-

38. ábra. Virtuális valóság (VR) alkalmazása az oktatásban [148]



39. ábra. Kevert valóság (XR) alkalmazása az oktatásban [149]

vábbfejlesztésében is, hiszen azok a gyermekekkel és emberekkel történő folyamatos interakciók során nagyon sokat tanulhatnak tapasztalati úton, illetve a tudomány is sokat profitálhat az emberi érzelmek, kognitív gondolkodás mélyebb megismerésén, esetleg különböző matematikai modellekkel történő leírásán keresztül. (40. ábra)

A fenti gondolatok megvalósítására elsőként és elsősorban a felsőoktatási intézményekben kerülhet sor, mert általános és középiskolás korban az egészséges személyiségfejlődéshez még elengedhetetlen az ember-ember kapcsolatok minél magasabb aránya. Ugyanakkor célszerűnek tartjuk minden képzési szinten és formában a megoldások kipróbálását, természetesen kezdetben maximális humán kontroll mellett úgy, hogy a virtuális oktatók, illetve a robotok kezdetben a tanárok munkáját segítve vesznek részt a foglalkozásokon. A robotok csoportos foglalkozásokba történő bevonása akár már az óvodákban is lehetséges, hiszen a 3-6 éves korcsoportban a gyermekek fogékonysága minden újdonság iránt kiemelkedő. Ezen ötletek

40. ábra. Modern oktatási módszerek [150]





41. ábra. Az okos város koncepció szegmensei [153]

egy részét bizonyos helyeken már a gyakorlatban is kipróbálták, például Kínában, ahol az egyik legfejlettebb és legeredményesebb az oktatási rendszer a világon. [141] A 40. ábrához tartozó videókon a leírtakhoz hasonló koncepciókkal ismerkedhetünk meg.

Az új típusú oktatás bevezetésének kapcsán az állam felelőssége is nagy, hiszen ha az emberek szemléletét nem tesszük eléggé befogadóvá a korszerű megoldások iránt, akkor nem integrálhatók sikeresen a megszokottól eltérő oktatási formák.

ÖSSZEZGÉS

A polgári alkalmazások bemutatása során megismert megoldásokat és ötleteket foglalja keretbe az okos város koncepciója. „Az okos város egy jól elkülöníthető földrajzi terület, ahol a csúcstechnológias iparágak például az infokommunikációs rendszerek, logisztika, energiatermelés területén a szereplők együttműködnek abból a célból, hogy hozzájáruljanak a polgárok jólétének, életkörülményeinek javításához, a szolgáltatások intelligens fejlesztéséhez. Az okos várost több szervezet együttesen kormányozza a város politikájának és a folyamatos fejlődés érdekében létrehozott szabályok, törvények betartásával.” [151] Becslések szerint 2030-ra a Föld lakosságának 66%-a városokban fog élni [152], ezért fontos feladat a jövő városi környezetének kialakítása, amelyben a mesterséges intelligenciának az élet minden területén kiemelt szerep jut majd. A 41. ábra foglalja össze a kapcsolódó kulcsfontosságú területeket, és az azokhoz köthető elképzeléseket. Az MI korábban bemutatott egészségügyi, mezőgazdasági, közlekedési, közigazgatási, oktatási fejlesztései mind integráns részét képezik ennek az átfogó koncepciónak. A polgári alkalmazások bemutatása során az okos városokhoz köthető azon területekre fókuszáltunk, amelyeknek már napjainkban is vannak érzékelhető hatásai, eredményei, és amelyekben már a közeljövőben is jelentős előrelépés várható. A tanulmány következő részében a katonai alkalmazási területek vizsgálatára koncentrálnunk majd.

(Folytatjuk)

HIVATKOZOTT IRODALOM

- [121] *The One Hundred Year Study on Artificial Intelligence (AI100)*, Stanford University, 2021. https://ai100.stanford.edu/sites/g/files/sbiybj18871/files/media/file/AI100Report_MT_10.pdf (Letöltve: 2022.8.31);
- [122] Jianfeng Zhao, Bodong Liang és Qiuxia Chen. *The key technology toward the self-driving car*, International Journal of Intelligent Unmanned Systems, Vol. 6 No. 1, pp. 2-20., 2018. <https://doi.org/10.1108/IJIUS-08-2017-0008>;
- [123] *Bemutatózás*, ZalaZone, Internetes elérhetőség: <https://zalazone.hu/bemutatozas/> (Letöltve: 2022.8.31);
- [124] Forrás: <https://galeria.totalcar.hu/kozelet/2019/05/21/zalazone/2> (Letöltve: 2022.8.31.);
- [125] *Self-Driving Car: Levels, Benefits And Constraints*, HERE Mobility, <https://mobility.here.com/self-driving-car-levels-benefits-and-constraints> (Letöltve: 2022.8.31);
- [126] Cadie Thompson. *Why driverless cars will be safer than human drivers*, Business Insider, 2016. <https://www.businessinsider.com/why-driverless-cars-will-be-safer-than-human-drivers-2016-11> (Letöltve: 2022.8.31);
- [127] *Highly automated technologies, often called self-driving cars, promise a range of potential benefits*, Coalition For Future Mobility, <https://coalitionforfuturemobility.com/benefits-of-self-driving-vehicles/> (Letöltve: 2022.8.31);
- [128] *Milyen intézkedéseket hoz az EU az éghajlatváltozás ügyében?* Európai Tanács, 2014. <https://www.consilium.europa.eu/hu/policies/climate-change/2030-climate-and-energy-framework/> (Letöltve: 2022.8.31);
- [129] *Greenhouse gas emissions from transport in Europe*, European Environment Agency, 2019. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/transport-emissions-of-greenhouse-gases/transport-emissions-of-greenhouse-gases-12> (Letöltve: 2022.8.31);

- [130] Üvegházhatású gázok kibocsátása az EU-ban (infografika), Európai Parlament, 2018. <https://www.europarl.europa.eu/news/hu/headlines/society/20180301STO98928/uveghazhatasu-gazok-kibocsatasa-az-eu-ban-infografika> (Letöltve: 2022.8.31.);
- [131] Forrás: <https://www.digi.com/getattachment/blog/post/smart-traffic-management-optimizing-spend/gettyimages-1146418696-1280x720.jpg?lang=en-us&width=1280&height=720&ext=.jpg> (Letöltve: 2022.7.24.);
- [132] Németh András. *UAV-k alkalmazása a közfeladatok ellátása során II.* Hadmérnök 13. évfolyam, 3. szám. pp. 68–86. 2018, http://www.hadmernok.hu/183_06_nemeth.pdf (Letöltve: 2022.8.17.);
- [133] Németh András, Virágh Krisztián. *Virtuális valóság és haderő – katonai alkalmazási lehetőségek V. rész*, Haditechnika, 55. évfolyam, 6. szám, pp. 2–6, 2021. <https://doi.org/10.23713/HT.55.4.01>;
- [134] Németh András. *Technical Dimensions of the Development of Unmanned Aerial Systems and Their Impact on Public Service Uses*, AARMS 2018/3. pp. 149–163.;
- [135] Dr. Németh András, Dr. Hegedűs Ernő, Wippenhauser András, Simó Réka. *A katonai alkalmazású autonóm terepjáró járművek fejlesztésének egyes kérdései II. rész*, Haditechnika, 53. évfolyam, 5. szám, pp. 2–7, 2019. <https://doi.org/10.23713/HT.53.5.01>;
- [136] *Magyar Zoltán Közigazgatás-fejlesztési Program*, Közigazgatási és Igazságügyi Minisztérium, 2011. <https://docplayer.hu/3271405-Magyar-zoltan-kozigazgas-fejlesztési-program.html> (Letöltve: 2022.8.17.);
- [137] *Közigazgatás- és Köszolgáltató-fejlesztési Stratégia*, Miniszterelnökség, 2014–2020. https://2015-2019.kormany.hu/download/8/42/40000/K%C3%B6zigazgat%C3%A1s_feljeszt%C3%A9si_strat%C3%A9gia_.pdf (Letöltve: 2022.8.17.);
- [138] *Digitális Jólét Program 2.0*, Magyarország Kormánya, 2017. <https://digitalisjoletprogram.hu/files/58/f4/58f45e44c4ebd9e53f82f56d5f44c824.pdf> (Letöltve: 2022.8.17.);
- [139] Futó Iván. *Mesterségesintelligencia-eszközök – szakértői rendszerek – alkalmazása a közigazgatásban*, Budapest: Dialóg Campus Kiadó, 2019.
- [140] *Értéktéremtő AI-stratégia definiálása a közigazgatásban*, Microsoft, <https://docs.microsoft.com/hu-hu/learn/modules/ai-strategy-in-government/> (Letöltve: 2022.8.17.);
- [141] *PISA2018 Összefoglaló jelentés*, Oktatási Hivatal, 2019. https://www.oktatas.hu/pub_bin/dload/kozoktat/nemzetkozi_meresekek/pisa/PISA2018_v6.pdf (Letöltve: 2022.8.17.);
- [142] Ostorics László. *A PISA és az Országos kompeten-ciámérés tanulságai*, Oktatási Hivatal, 2015.;
- [143] Fóti Péter. *Porosz-os-e a mai magyar iskolarendszer?* 2013. <http://www.demokratikusnevelés.hu/index.php/cikkek/23-foti-peter/128-foti-porosz-os-iskolarendszer> (Letöltve: 2022.8.22.);
- [144] Németh András, Virágh Krisztián. *Virtuális valóság és haderő – polgári alkalmazási lehetőségek III. rész*, Haditechnika, 55. évfolyam, 4. szám, pp. 2–8, 2021. <https://doi.org/10.23713/HT.55.4.01>;
- [145] Forrás: https://d1syj4d8txnu77.cloudfront.net/Realism/ImageCarousel_6.jpg (Letöltve: 2022.9.4.);
- [146] András Németh, András Szabó, Ferenc Balog. *3D Virtualisation and Visualisation Technologies for Archiving the Results*, In: Gábor, Hausner; András, Németh (szerk.) Zrinyi-Újvár: A Seventeenth-Century Border Defence System on the Edge of the Ottoman Empire, Budapest, Magyarország: Ludovika Egyetemi Kiadó (2020) pp. 225–268.;
- [147] Szabó András, Németh András. *A katonai műszaki képzés rendszerének kihívásai és lehetséges fejlesztési irányai*, Hadtudományi Szemle 12. évfolyam, különszám, pp. 261–288, 2019. <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/hsz/article/view/1411/733> (Letöltve: 2022.7.24.);
- [148] Forrás: <https://imageio.forbes.com/specials-images/imageserve/60fa55b0bb0508f4ac956653/0x0.jpg?format=jpg&width=1200> (Letöltve: 2022.9.4.);
- [149] Forrás: <https://edu.jtrs.co.uk/web/image/296072/mixed-reality-hololens-jtrs-education.jpg> (Letöltve: 2022.9.4.);
- [150] Forrás (felső kép): *Robot teachers invade Chinese kindergartens*, 2018. Internetes elérhetőség: <https://www.youtube.com/watch?v=jppnAR1mtOw> (Letöltve: 2022.8.31.) (alsó kép): *Robots in Schools: The Future of Student Success*, 2014. Internetes elérhetőség: <https://www.youtube.com/watch?v=0DLKkBzCi6w> (Letöltve: 2022.8.31.);
- [151] Virágh Krisztián: *Virtuális valóság (VR) technológiák alkalmazási lehetőségei, különös tekintettel a katonai aspektusokra*, Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 2019. p. 52.;
- [152] Andrés Camero és Enrique Alba. *Smart City and information technology: A review*, Cities, Vol. 93., pp. 84–94., 2019.;
- [153] Prof. dr. Sallai Gyula: *Az okos város koncepció és az internet következő generációja*, Előadás, 7. dia, Okos város – okos közigazgatás technológiák konferencia, 2018. http://www.eit.bme.hu/sites/default/files/Events/2018/20180927-NKE-okosvaros/12-Sallai-NKE_Okosvaros-20180927.pdf (Letöltve: 2022.8.31.).

JEGYZETEK

8 A SAE (Society of Automotive Engineers) J3016_202104 jelű szabványa, „Taxonómia és a közúti gépjárművek vezetési automatizálási rendszereivel kapcsolatos kifejezések meghatározása” címmel a gépjárművek vezetési automatizálási rendszereit írja le, amelyek a dinamikus vezetési feladat egy részét vagy egészét tartósan végrehajtják. A vezetési automatizálás hat szintjének részletes definícióit tartalmazó taxonómia, a vezetési automatizálás hiánya (0. szint), a vezetői asszisztens alkalmazása (1. szint), a részleges vezetési automatizálás (2. szint), a feltételes vezetési automatika (3. szint), a magas vezetési automatizálás (4. szint) és a teljes vezetési automatizálás (5. szint). (A szerk.)

9 „2015. december 12-én, a Résztes Felek Konferenciájának 21. ülészakán létrejött, a globális klímapolitika jövőjével foglalkozó nemzetközi megállapodás, a Résztes Felek vállalásaira épülő, jogilag kötelező erejű, globális nemzetközi megállapodás. A Megállapodás új, átfogó keretet biztosít a nemzetközi klímapolitikai együttműködésnek, tartalmazva a további együttműködés célkitűzéseit és kereteit az érintett témakörökben. A kapcsolódó Határozat a Megállapodás végrehajtásához szükséges szabályozási és intézményi eszközöket, rendelkezéseket foglalja magában.” Forrás: Innovációs és Technológiai Minisztérium: A 2018–2030 közötti időszakra vonatkozó, 2050-ig tartó időszakra is kitekintést nyújtó második Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia, 2018., p. 244.

10 Digitális Jólét Program <https://digitalisjoletprogram.hu/hu/tartalom/digitalis-kozigazgatás>



17. ábra. Az Sz-400-as nagy és közepes hatótávolságú önjáró légvédelmi rakétarendszer. Az indítóállvány 4 vetőcsövében eltérő rendeltetésű rakétákat is elhelyezhetnek. A légvédelmi rendszer rakétáit egységes álcázás és a sugárzások ellen leárnýékolt burkolat rejti (Fotó: HT archívum / Zentay Péter)

Dr. Kiss Roland*

Oroszország A2/AD képességei III. rész

Védelmi feladatok

A tanulmány előző részeiből megismerhettük, hogy Oroszország milyen A2/AD (hozzáférést gátló/területmegtagadó) képességekkel rendelkezik, illetve háború esetén ezeknek milyen feladatot szánna. Az offenzív feladatokat tárgyaló részből kiderült, ezek a képességek hogyan alkalmazhatók az ellenség csapásmérő erejének csökkentésére. A sorozat befejező részében a hozzáférést gátló/területmegtagadó (A2/AD) képességek védelmi jellegű feladatairól lesz szó.

Az offenzív műveletek sikerétől függetlenül, konfliktushelyzetben mindenképpen sor kerülne védelmi műveletekre is – a két művelettípus nehezen elválasztható egymástól, hiszen többnyire párhuzamosan zajlnak. Amíg az offenzív műveletek célja, hogy csökkentsék az ellenség erőinek harcképességét annak érdekében, hogy a műveleteit ne legyen képes a kívánt hatásokkal végrehajtani, és lehetőleg omoljon össze a vezetési rendszere, addig a védelmi feladatok célja, hogy felfogják a támadás erejét. Mindez azt jelenti, hogy a lehető legjobban megóvják a saját rendszereiket, biztosítsák az ország (politikai, katonai) vezetésének és haderejének túlélését, valamint felőröljék a támadó erőket. Akkor veszteséget kell okozniuk, amely az ellenség számára nem elfogadható, és semmiképp sem fenntartható. Az integrált légvédelmi rendszernek döntő szerepe lenne az ország működőképességének fenntartása és a fegyveres erők megóvása érdekében.



18. ábra. 9K37 Buk-M2 és -M3 légvédelmirakéta-komplexumok éleslövészete Oroszország asztraháni területén, a Kapusztyn Jar kísérleti rakétaindító telepen [54]

Oroszország integrált légvédelme az egyik legfejlettebb a világon, hiszen a Szovjetunió már a hidegháború kezdetén szembesült azzal a ténnyel, hogy a hadrendbe állított nukleáris fegyverekkel felszálló amerikai stratégiai bombázók, és repülőgép-hordozókról indított repülőgépek komoly fenyegetést jelentenek. Ezért a légvédelemre az 1950-es évektől nagy hangsúlyt helyeztek, sőt a honi légvédelemnek haderőnemi szintű szervezete volt. Emellett tisztában voltak azzal, hogy egy európai háború során a NATO légi

* Főhadnagy. MH Haderőmodernizációs és Transzformációs Parancsnokság, Honvéd Tudományos Kutatóhely, kutató. ORCID: 0000-0002-5979-3098



19. ábra. Az 55ZS6M radarkomplexum RLM-D deciméteres hullámhosszú (elől) és RLM-M méteres hullámhosszú (hátsó) radarmoduljai. A Nebo-M integrált, többfunkciós, többsávú, többszörösen programozható radarrendszer, amely nagy hatékonysággal képes felderíteni az alacsony észlelhetőségű, 5. generációs repülőgépeket, és érzékeli a nagy hatótávolságú ballisztikus rakéták kilövéseit is [55]

fölényt élvezne, így a szárazföldi erőknek is szokatlanul erős csapatlégvédelme volt. Oroszország ma is vezető hatalom a felszíni telepítésű légvédelmi rakétaeszközök területén.

Jelenleg a légvédelem az orosz légi és kozmikus erők feladata, de légvédelmi eszközökkel a haditengerészet és a szárazföldi erők is rendelkeznek. A légvédelem első vonalának a felderítést és a korai előrejelző rendszereket tekinthetjük, amelyek figyelmeztetnek a támadásra. A horizonton túli képességű Voronyezs radarokat⁹ az orosz határ közelében telepítették, 4200 km-es hatótávolságukkal szinte a teljes eurázsiai kontinentet és az Északi-sarkvidéket is lefedik, képesek jelezni és követni a cirkálórakétákat és a ballisztikus rakétákat is. [56] A Konténer¹⁰ is horizonton túli radarrendszer, amely – akár 3000 km-ről – szintén alkalmas rakéták és repülőgépek felderítésére. Az első egység Nyiznyij Novgorodban épült, de tervezik egy kalinyingrádi egység telepítését is, amellyel Európa teljes lefedettsége biztosított lenne, valamint az északi sarkkörre is tervezik az eszköz telepítését. [57] Ezek a rendszerek önmagukban még nem alkalmasak céljelölési adatok továbbítására, mivel ahhoz nem elég pontosak, egy készülő támadást azonban időben jelezni tudnak. Ezt más egységek is segítik, mint például a Nebo-M radarrendszer, amely képes a repülőgépeket akár 600 km-es távolságból is észlelni. Az oroszok szerint ez a rendszer az alacsony észlelhetőségű eszközökkel szemben is hatásosabb, mint a hagyományos lokátorok – bár nyilván jóval kisebb távolságról –, sőt, elég pontos lehet ahhoz, hogy célinformációkat biztosítson az Sz-300/400 rakétaütegeknek. [58] Ezeket az egységeket egyelőre olyan stratégiai fontosságú helyekre telepítették, mint például a Krím vagy az Északi-sarkvidéket.

Oroszország emellett rendelkezik még Berijev A-50¹¹ légi korai előrejelző és irányító repülőgépekkel, amelyek alkalmasak a vadászrepülőgépek irányítására vagy céladatok biztosítására a légvédelem számára. 2024-től tervezik hadrendbe állítani a korszerűbb A-100-as típust. Maga a légi korai előrejelző és irányító képesség gyengének értékelhető, mivel az orosz légierő jelenleg csupán 9 db A-50-essel rendelkezik. Összehasonlításként az amerikai légierő és haditengerészet kötelékében összesen 31 db Boeing E-3 Sentry és 94 db Northrop Grumman E-2 Hawkeye repülőgép szolgál. [59]



20. ábra. 96K6 Pancir közeli hatótávolságú légvédelmirakéta-komplexum oltalmaz egy Sz-400-as üteget Szíriában [60]

Amint jelzik a korai előrejelző radarok, hogy behatolás történt a légtérbe vagy tömeges légitámadás várható, a földi légvédelmen a sor. A légvédelem területvédelemre a nagy hatótávolságú Sz-400-as, valamint a régebbi Sz-300PM1/2/PSz típusú légvédelmirakéta-komplexumokat rendszeresítette, továbbá az Sz-300V/V4 típust a szárazföldi erők is használják. [59, 193, 196–198. o.] Az Sz-400-as légvédelmirakéta-komplexum jelenleg a legnagyobb mennyiségben (az egységek több mint fele) hadrendben álló, legkorszerűbb típus¹², amely a már korábban említett 400 km hatótávolságú 40N6-os rakéta mellett, az Sz-300-assal a 48N6 (200–250 km hatótáv), valamint a 9M96-os rakétát működteti (változattól függően 40–120 km hatótáv, ezt alkalmazza az Sz-350-es is). Utóbbi a rendszer önvédelmére, valamint korlátozottan ballisztikus rakéták elfogá-

21. ábra. A Buk rendszer indítójárművei nemcsak önálló tűzvezetésre képesek, de más egységeknek is tudnak célinformációkat adni [63]





22. ábra. A jövőben az Sz-350 Vityaz váltja le az Sz-300-as rendszereket [64]

sára is képes. A fenti típusokat és változataikat jellemzően vegyesen alkalmazzák, és az indítójárművekre 4 db nagy (48N6) vagy 16 db kis méretű (9M96) rakétát táraznak. [61] Az Sz-400-as egységek védelmét egy-egy osztály 96K6 Pancir pontvédelmi eszköz látja el. Pancirok feladata továbbá a stratégiai létesítmények védelme is, a gyors tüzelő gépágyúk és rakéták kombinációjával rendelkező rendszer alkalmas a cirkáló rakéták, repülőgépek és drónok megsemmisítésére. Oroszország légvédelmi tartalékot hoz létre Pancir komplexumokból, valamint a közepes-nagy hatótávolságú Sz-350-es rakétakomplexumokból. Ezek az ezred szintű kötelékek minden katonai körzetben megjelennek majd, feladatuk az lesz, hogy gyorsan megerősítsék a kritikus fontosságú fegyverrendszerek és létesítmények védel-

mét, ha tömeges légi-, vagy cirkáló rakéta-támadás lehetősége állna fenn. [62]

Az orosz légvédelmi rendszerekkel szemben gyakorta hozzák fel azt az érvet, hogy a Föld görbülete miatt az orosz rendszerek imponáns lőtávolságai közel sem használhatók ki, mivel a radar egyszerűen nem látja a légtér egy jelentős szeletét, így nem tud tüzet vezetni sem, kiváltképp a kis magasságon közelítő gépek ellen¹³. A másik „biztos érv”, hogy hasonlóan a korai légvédelmi rendszerekhez, elég csupán a központi radart elpusztítani, és az üteg harcképtelenné válik. [62, 49–54. o.] Ezeknek az állításoknak megkérdőjelezhető az igazságtartalma. Az oroszok sem építenének egyre nagyobb hatótávolságú eszközöket, ha a radarral csak néhány tíz kilométer távolságra látnának el. A valóság az, hogy már régóta használnak kitolható árbócra telepített radarokat, amelyek segítségével csökken a vakfolt mérete. Emellett az ütegek nem csupán a saját tűzvezető radarjaikat használják.

A fenti problémák áthidalása érdekében, és tanulva az arab–izraeli háborúk tapasztalataiból, az oroszok összeköttették a rendszereket, így sok forrásból kaphatnak célinformációkat. Ez a megoldás részben megszüntette a földrajzi hátrányokat, és biztosította a légvédelmi rendszer ellenálló képességét. Idetartoznak más légvédelmi ütegek (a Buk, a Tor és a Pancir), a haditengerészet hajói vagy az A-50-es légtérelőőrző repülőgépek is. Vagyis például egy Sz-400-as ütegnek egy tőle jóval nagyobb távolságra települt Buk egység is tud céladatokat szolgáltatni. Ezért az üteg még az Sz-400 típusú üteg radarjának elvesztése után is harcképes marad. Ameddig van működő orosz radar a hatótávolságában, addig képes tüzet vezetni. Ugyanez fordítva is működik, ugyanis az Sz-400-as üteg- vagy osztály-harcálláspont képes koordinálni a felelősségi területén található egyéb lég-

23. ábra. A szárazföldi erők által hadszíntéri rakétavédelemre alkalmazott Sz-300V4 rendszer elemei. Jól látható az indítójármű saját, árbócra szerelt radarja [68]





24. ábra. A Szuhoj Szu-35S az orosz légi és kozmikus erők egyik legkorszerűbb eszköze. Saját terület felett, a földi légvédelem támogatásában félelmetes ellenfélnek számítana [69]

védelmi egységek tűzvezetését is. [65] A Kavkaz-2020 gyakorlaton a légierő, a szárazföldi erők és a haditengerészet légvédelmi eszközeit is egyetlen rendszerbe kapcsolták, egy parancsnokság alá vonták össze. [66] Ráadásul ennek akadályozása sem könnyű, hiszen az oroszok változatos rendszereket alkalmaznak az adattovábbításra is, beleértve a 4G-s, valamint 5G-s mobil- és WIFI-hálózatokat, a műholdas kommunikációt és a felhőalapú tárhelyeket is. [67] A radarokat pedig nehéz lenne mind eltalálni, ugyanis a kisebb rendszereknél, mint a Buk, a Tor-M1, a Pancir, az Osa vagy az Sz-300V minden indítójármű saját tűzvezető radarral rendelkezik, így amíg az indítójármű üzemel, működik a radar is.

Az orosz légierő és a kozmikus csapatok a nagy hatótávolságú eszközök mellett a Buk-M1/M2 közép-hatótávolságú és a Pancir-Sz1/2 pontvédelmi rendszereket is alkal-

nem egy-egy üteg vagy osztály gondoskodik a védelemtől, hanem egymást sokszorosán átfedő, különböző hatótávolságú és hatómagasságú eszközök. Hasonlással élve, ez a rendszer inkább egy sündisznóhoz, mint egy üvegburához vagy buborékhoz hasonlítható. Ilyen nagy mennyiségű eszközt nem lehet semlegesíteni vagy könnyen elpusztítani, és mindemellett jelentős erőt képviselnek a légierő elfogóvadászai is.

Ugyanis Oroszországot – hatalmas területe miatt – képtelenség teljesen lefedni légvédelmi rakétaegységekkel. A rakéták által lefedett területek közötti réseket elfogó- vadászrepülőgépekkel fedezik. Napjainkban e feladatokra a Mikojan-Gurjevics MiG-29-es, a MiG-31-es, a Szuhoj Szu-27-es, a Szu-30-as, a Szu-35-ös és a Szu-57-es repülőgépek vethetők be. A gépek többsége új gyártású, fejlett elektronikával és fegyverzettel rendelkezik. Védelmi,

25. ábra. Az orosz „bástyákat” jelentős erők védik. A képen az Északi Flotta (Северный флот) Gorskov admirális osztályú fregattja, Oscar II. osztályú tengeralttjárója és Udaloj osztályú rombolója látható [71]



elfogó feladatokban az orosz vadászpilóták nagy valószínűséggel sokkal jobb eredménnyel vethetők be, mintha offenzív légi fölény feladatokra alkalmaznák őket, mivel a potenciális légierők erősebbek ugyan, de orosz terület felett a földi légvédelmi egységek támogatására is számíthatnak, valamint az orosz légtérben az ellenség sem tudna csak a saját feltételei mellett harcba bocsátkozni.

Védelemben az orosz flottára a kevésbé dicsőséges, ám annál fontosabb partvédelem várna, mindenekelőtt pedig a „bástyavédelem”. A haditengerészeti spektrum a tömeges légi- és rakétatámadás kapcsán ugyanis kiemelten fontos. Valójában ez az a terület, ahol az A2/AD szemlélet orosz viszonylatban is fellelhető, és értelmet nyer. Az orosz haditengerészet minden tekintetben hátrányban van az amerikaiakkal szemben, ezért azt ellensúlyozandó, aszimmetrikus módszerekre kényszerül. Ebben nagy szerepet kapnak a nagy hatótávolságú rakétafegyverek, és a hiperszonikus eszközök. Az orosz szemlélet szerint a tengeri uralom (jelen esetben a partközeli vizek védelme) úgy biztosítható, ha szétverik az ellenség legfontosabb (legnagyobb értékű) harccsoportjait, akadályozzák a vezetés-irányítását és meggátolják hozzáférést a számukra fontos vizekhez. Továbbá a légi, felszíni és felszín alatti terekből elég csupán egyet uralni, amellyel ellensúlyozható a másik kettő. A három közül a légtér a legfontosabb, így az ellenséges flották elleni harcban a szárazföldi telepítésű légierőnek döntő szerep jut. [70]

Nem valószínű azonban, hogy az amerikai, vagy a NATO felszíni egységek megközelítenék az orosz partokat, hiszen az életveszélyes vállalkozás lenne számukra. Ehhez ugyanis először a légierő által indított hajó elleni rakétákkal, vadász- és cirkálórakéta-hordozó tengeralattjárókkal kellene szembe nézniük, majd a part közelében kisebb-nagyobb rakétás felszíni egységekkel és partvédő rakétákkal, ez tehát nem reális opció. Sokkal nagyobb veszélyt jelentenek az ellenséges tengeralattjárók, amelyek képesek lehetnek becserkészni az orosz rakétahordozókat, vagy saját cirkálórakétaikkal csapást (akár nukleárisat is) mérni a szárazföldre. Ez azért is nagyon veszélyes, mivel a ballisztikus rakéták és a stand-off tá-

volságból indított cirkálórakéták már nagy távolságból felderíthetők. Ez esetben csak nagyon rövid idő állna rendelkezésre a reagálásra, mivel a potenciális indítóhelyektől számítva az északi partoktól a legkisebb a távolság Oroszország belső, stratégiai fontosságú területeiig. Ezért az ellenséges tengeralattjárók elleni harc központi szerepet játszana annak érdekében, hogy megóvják a partokat, a stratégiai fontosságú területeket és a „bástyákat”, azonban ezen a területen az oroszok – szemben az amerikai és NATO-erőkkel – nem igazán erősek. Bár közel sem lenne egyszerű feladat a tengeralattjáró-vadász felszíni hajók, repülőgépek, orosz tengeralattjárók és aknazárak sűrűjén átkelni, rakétát indítani, majd épségben hazatérni, orosz szemszögből ez reális fenyegetésnek látszik. Ezért – bár kétség kívül fontos lenne az ellenséges felszíni egységek kívül tartása, amelyet a légierő, a felszíni egységek és cirkálórakéta-hordozó tengeralattjárók meg tudnának oldani egészen talán a Norvég-tengerig, sőt talán a GIUK- résis¹⁴ is –, az igazi feladat a „bástyák” és a saját rakétahordozók védelme lenne, valamint megakadályozni az ellenséges tengeralattjárók rakétaindítását. Ehhez pedig távol kellene tartani a nyugati tengeralattjárókat. A külső védelmi sáv a Norvég-tengeren húzódná, az orosz vadász-tengeralattjárókkal. A védelem a partokhoz közelítve kiegészülne tengeralattjáró-vadász repülőgépekkel és helikopterekkel, rombolókkal, fregattokkal és korvettekkel, aknazárakkal és a ballisztikusrakéta-hordozók közel biztosítását ellátó orosz nukleáris és dízel-elektromos tengeralattjárókkal. Az oroszok azonban a bástyákat is csak korlátozottan képesek biztosítani, megközelítően csak a Kola-félsziget (Кольский полуостров) körül. Keletebbre, a Jeges-tengeren már nem képesek hatékony védelemre a tengeralattjárókkal szemben. Ezért az utóbbi időkben ezeken a területeken inkább a légvédelemre – vagyis a kilőtt cirkálórakéták elfogására –, és nem a tengeralattjárók elleni műveletekre koncentrálnak. [72]

Bár az A2/AD témában folyó vitában a parti telepítésű hajók elleni rakétarendszerek is komoly figyelmet kapnak, a szerepük valószínűleg mégis korlátozottan érvényesülne. Ezek a rendszerek ugyan alkalmasak arra, hogy egy-egy

26. ábra. A „bástyák” célja az orosz ballisztikusrakéta-hordozó tengeralattjárók védelme, hogy biztosítsák a második csapás képességét [73]





27. ábra. P-800 Onix rakéta indítása egy Bastion-P hajó elleni rakétarendszerről. Ezek az egységek valós A2/AD képességet biztosíthatnak például a Fekete-, és a Balti-tengeren [74]

terület vagy sziget állandó védelmét ellássák, de mivel a fent felsoroltak miatt nem valószínű, hogy felszíni egységek behatolnának az általuk védett területre, ezért csak az utolsó védvonalat jelentik. Azonban az olyan beltengereken, mint a Balti- és a Fekete-tenger, ahol kicsik a távolságok, tényleges A2/AD képességként lehetne ezeket a parti telepítési rakétákat alkalmazni. Ugyanis a felszíni hajóknál könnyebben álcázhatók, így nehezebben felderíthetők és pusztíthatók. [72, 62. o.] A helyi orosz flották bevetése helyett ezért alkalmasak arra, hogy meggátolják az ellenség hajóegységeinek a mozgását, így a saját felszíni és felszín alatti hajóknak nem kellene közvetlenül megütközniük az ellenség potenciálisan erősebb légi és tengerészeti egységeivel. Ezzel effektíve „holt tengerré” változtatnák az adott vizeket, amelyeket ugyan ők sem tudnak használni, de az ellenség sem, vagy egyfajta „fleet in being”-ként is működhetnek csak rakétákkal.

A felderítés területén a fix telepítésű, 450 km hatótávolságú Podsolnuk-E, [75] valamint az önjáró Monolit-B horizonton túli radart, hajók és légi felderítő eszközök (Kamov Ka-31, Iljusin Il-38, drónok) radarjait használhatják, ezért a célfelderítés és a követés itt is megoldott. [76] Emellett Oroszország újra felállítja a szovjet időkből még meglévő óceánfelderítő műholdjainak rendszerét. A Liana rendszerben helyet kapnak a Lotosz-1 elektronikai felderítő és a Pion-NKSz radarműholdak. [77] Az orosz haditengerészet a Bal és a K-300 Bastion-P rendszert tartja hadrendben. A Bastion-P rendszer P-800 típusú rakétái 300 km távolságig hatásosak, és a végső repülési fázisban a víz felett közvetlenül repülve elérik a 2,5 Mach sebességet. A Bal rendszer a kisebb Kh-35-ös rakétákat alkalmazza, amelyek 130–260 km-ig hatásosak. Mindkét rakéta a végső megközelítési fázisban önállóan deríti fel a célt. [62, 32–35., 56. o.]

További nagyon hasznos eszközök lennének a tengeri aknák, amelyek nem látványos eszközök, de stabilan lehet velük zárni a területet¹⁶. [78] Ilyen területek lehetnek a Balti- és a Fekete-tenger, valamint a megközelítési utak az északi kikötők és bázisok, valamint a „bástyavédelmek” felé.

ÖSSZEĞZÉS

Bár Oroszország rendelkezik A2/AD képességekkel, de A2/AD rendszerrel, doktrínával vagy stratégiával nem. Ezek a képességek azonban részei egy komplex aktív védelmi rendszernek, amelynek célja nem az ellenség kívül tartása vagy területek komplett lezárása, mivel az a megoldás szerintük sem lehetséges. Például az orosz–ukrán háborúban az elképzelt légvédelmi buborékoknak nyomát se láttuk, pedig ez az orosz vagy belorusz területekről – elméletben – kialakítható lett volna. Ezek a képességek nem offenzív műveletek fedezésére vagy agresszióra szolgálnak, mint ahogyan azt sokan feltételezik. Ehelyett offenzív és defenzív műveleteken keresztül akarják megvalósítani a stratégiai védelmet, háború esetén az ellenség rendszerének kulcselemeit kiütve, csökkenteni akarják a támadás erejét, felfogni annak hatását és felőrölni a támadóerőket. Mindezt úgy, hogy közben megóvják Oroszország működőképességét, beleértve a civil-katonai vezetést és a kritikus infrastruktúrát, az iparágakat és a városokat. Továbbá biztosítani kívánják az orosz katonai erők megóvását és túlélését, amelyek aztán képesek lehetnek stratégiai szintű ellencsapásra.

A vázolt okok miatt az orosz A2/AD képességekkel kapcsolatban sok a félreértés, ezért törekedni kell a helyzet jobb megértésére és áttekintésére. Ez rendkívül fontos az Oroszországgal kapcsolatban kialakult háborús pszichózisban.

Moszkva aktív műveleteket folytat katonai és nem katonai eszközökkel, amellyel világszerte igyekszik növelni a befolyását, illetve a valóságosnál erősebbnek láttatni magát, hogy elrettentse ellenfeleit, és kedvezőbb diplomáciai pozícióra harcoljon ki magának. Az A2/AD képességeket is ebben a keretben kell elhelyezni egy olyan rendszerben, amely folyamatosan fenyegetve érzi magát, célja az elrettentés és védelem, de ha szükséges ütni is kész.

HIVATKOZOTT IRODALOM

- [54] „Тактические учения зенитчиков с боевыми пусками на полигоне Капустин Яр в Астраханской области” feltöltötte Минобороны России 2021. 9. 4. Youtube video <https://www.youtube.com/watch?v=T7xvBcRwQQY> (Letöltve: 2021.12.13.);
- [55] <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:AirFrontiers2018-16.jpg> (Letöltve: 2021.12.13.);
- [56] 77YA6 «Voronezh-M, <https://www.radartutorial.eu/19.kartei/01.oth/karte007.en.html>, és Voronezh High Depot Readiness (HDR) – Locations, <https://www.globalsecurity.org/wmd/world/russia/voronezh-sites.htm> (Letöltve: 2021.12.13.);
- [57] 29B6 Container, <https://www.radartutorial.eu/19.kartei/01.oth/karte012.en.html>, és Joseph Trevithick, Russia Plans To Set Up Massive New Radar Array To Help „Control” The Arctic Region, <https://www.thedrive.com/the-war-zone/31271/russia-plans-to-set-up-massive-new-radar-array-to-help-control-the-arctic-region> (Letöltve: 2021.12.13.);
- [58] Russia’s Nebo-M Radars Can Detect U.S. F-22 and F-35 Jets: Developer Says; https://www.defenseworld.net/news/29637/Russia_s_Nebo_M_Radars_Can_Detect_U_S_F_22_and_F_35_Jets_Developer_Says#.YbdRDr3MKUk, és Carlo Kopp, NNIIRT 1L119 Nebo SVU / RLM-M Nebo M, <http://www.ausairpower.net/APA-Nebo-SVU-Analysis.html>, (Letöltve: 2021.12.13.);

- [59] *The Military Balance 2021*, (International Institute for Strategic Studies, Routledge, 2021), pp. 54, 57 és 198.;
- [60] Forrás: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Будни_авиагруппы_ВКС_РФ_на_аэродроме_Хмеймим_в_Сирии_\(43\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Будни_авиагруппы_ВКС_РФ_на_аэродроме_Хмеймим_в_Сирии_(43).jpg) (Letöltve: 2021.12.13.);
- [61] Robert Dalsjö, Christofer Berglund, Michael Jonsson, *Bursting the Bubble – „Understanding the Full Spectrum of the Russian A2AD Threat and Identifying Strategies for Counteraction”* FOI; Stockholm; March 2019. pp. 27–32.;
- [62] Anton Lavrov, Roman Krecul, *Панцирем»: в армии формируют мобильные полки ПВО*, <https://iz.ru/1033585/anton-lavrov-roman-krecul/prikroiutsia-pantcirem-v-armii-formiruiut-mobilnye-polki-pvo> (Letöltve: 2021.1.14.);
- [63] Forrás: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/ae/%D0%A1%D0%9E%D0%A3_%D0%97%D0%A0%D0%9A_%D0%91%D1%83%D0%BA-%D0%9C2%D0%AD.jpg (Letöltve: 2021.1.14.);
- [64] Forrás: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/93/Air_Defence_System_%22Vityaz%22_%28english_%22Knight%22%29.JPG (Letöltve: 2021.1.14.);
- [65] Dimitrij Litovkin, „Витязи” воздушной обороны. Чем не могут похвастаться зарубежные разработчики системы ПВО, <https://tass.ru/opinions/7588391>, (Letöltve: 2021.12.16.);
- [66] Anton Lavrov, Artem Krecul, *Зенитное положение: военные объединили системы ПВО в единый контур*, <https://iz.ru/1069790/anton-lavrov-roman-krecul/zenitnoe-polozhenie-voennye-obedinili-sistemy-pvo-v-edinyi-kontur>, (Letöltve: 2021.12.16.);
- [67] Robert Dalsjö, Michael Jonsson (ed.), *„Beyond Bursting the Bubble – Russian A2AD in the Baltic Sea Region: Capabilities, Countermeasures, and Implications”*, Stockholm: FOI, 2020, p. 33.;
- [68] Forrás: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cf/S-300V_-_9A83_TELAR.jpg (Letöltve: 2021.1.14.);
- [69] Forrás: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/4c/Su-35S_of_the_Russian_Air_Force.jpg/640px-Su-35S_of_the_Russian_Air_Force.jpg (Letöltve: 2021.1.14.);
- [70] I.J. Petrenko, A.A. Korjakovcev, „Господство на море: завоевать и удержать, ВОЕННАЯ МЫСЛЬ” 2021/8, pp. 60–63.;
- [71] Forrás: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Admiral_Gorshkov_frigate_01.jpg (Letöltve: 2021.1.14.);
- [72] Alekszandr Kramcsihin, *Очень холодное поле боя*, <https://vpk-news.ru/articles/64758>, (Letöltve: 2022.3.24.);
- [73] Forrás: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c5/Russian_submarine_Tula_%28K-114%29.jpg (Letöltve: 2022.3.24.);
- [74] Forrás: https://www.youtube.com/watch?v=c_P5-ns5R54 (Letöltés: 2022.3.24.);
- [75] *Podsolnukh-E over-the-horizon surface-wave radar*, <https://www.globalsecurity.org/wmd/world/russia/podsolnukh.htm>, és „Podsolnukh-E maritime, littoral and overland surveillance radar system.”, <https://www.aorti.ru/en/competencies/radar-system/Podsolnukh-E/>, (Letöltve: 2021.12.14.);
- [76] Michael Kofman, *Russian Maritime ‘A2/AD’: Strengths and weaknesses*, <https://russianmilitaryanalysis.wordpress.com/2020/01/29/russian-maritime-a2-ad-strengths-and-weaknesses/>, (Letöltve: 2021.3.3.);
- [77] Douglas Barrie, Nick Childs, „Russia tests sea-denial systems with Soviet echoes” <https://www.iiss.org/blogs/military-balance/2021/04/russia-sea-denial-systems>; (Letöltve: 2021.12.14.);
- [78] Anton Lavrov, Anna Cserepanova, *С „Бала» на корабль: Минобороны отработает перекрытие Финского залива”* <https://iz.ru/1198466/anton-lavrov-anna-cherepanova/s-bala-na-korabl-minoborony-otrabortaet-perekrytie-finskogo-zaliva>, (Letöltve: 2021.12.16.).

JEGYZETEK

- 9 A Voronyezs osztályú radarrendszer három különböző típusú lokátort foglal magába: a Voronyezs–M, a Voronyezs–DM (VHF és UHF frekvenciasávok) és a Voronyezs–VP nagy teljesítményű radart (EHF sáv). A rendszer felderítési távolsága 4500–6000 km, a detektálható légi célok magassága maximum 4000 km. A Voronyezs képes ballisztikus rakéták, repülőgépek és műholdak felderítésére, és 500 légi cél egyidejű követésére. (A szerk.)
- 10 A 29B6 Container radart a Hosszú távú Rádiókommunikáció Tudományos Kutatóintézetében (NIIDAR, Moszkva) fejlesztették ki. A radar nagy teljesítményét különleges kialakítása biztosítja. Az állomás két, egymástól 300 km-re telepített antennamezőt tartalmaz a jelek továbbítására és fogadására, a komplexum adóantennája 36 db árbócból áll, 440 m hosszú mező formában készül, a vevő három, egyenként 34 m magas árbócszakasz tartalmaz egyenes, háromszög alakban telepítve. A Container kétkoordinátás, horizonton átnyúló radar, amely deciméter tartományban működik, a légi célokat 3000 km-es körben és 100 km-es magasságban képes felismerni. A berendezés legalább 500 objektum automatikus nyomon követését biztosítja. (A szerk.)
- 11 Az Berijev A–50 szovjet gyártmányú légtérelenőrző repülőgép, amelyet az Iljusin Il–76-os szállító-repülőgép alapján, a hasonló feladatkörű Tupoljev Tu–126 típusú repülőgépek leváltására terveztek a Berijev tervezőirodában. Az első A–50 1984-től állt hadrendbe, 1992-ig összesen 40 db készült a típusból. (A szerk.)
- 12 Az Sz–500 rendszeresítése napjainkban még épp csak elkezdődött.
- 13 A kis magasságú repülést régóta alkalmazták a támadók, mivel így kihasználhatók a radarrendszer korlátai, azonban ez nagy felkészültséget igényel a pilótáktól, még az igen korszerű avionikával ellátott repülőgépeken is. Emellett a kis repülési magasság negatívan befolyásolja a gép hasznos terhelhetőségét, illetve a hatótávolságát is. Kis magasságon ugyan nagyobb védelmet élvez a repülőgép a rakétarendszerekkel szemben, de jobban ki van téve a csapatlégvédelmi és pontvédelmi komplexumok – mint a Silka, Tunguzka vagy Pancir rendszerek – tűzésnek. Az olyan rakéták pedig, mint a 40N6-os, aktív radarvezérlésűek, és képesek a cél önálló felderítésére repülés közben, ezért még ha a tűzvezető radar nem is látja folyamatosan a célt, a rakéta saját lokátora nagy magasságból látni fogja, és rávezeti magát a célra.
- 14 Greenland – Iceland – United Kingdom: Grönland – Izland – Egyesült Királyság.
- 15 A tengeri hadviselésben a „fleet in being” olyan haditengerészeti erő, amely anélkül terjeszti ki az irányító befolyását, hogy elhagyná a kikötőt.
- 16 2021 nyarán például a Balti Flotta (Балтийский флот) Szentpétervár védelmét gyakorolta tengeri támadások ellen, amelynek keretében a Finn-öblöt aknatelepítéssel zárták volna le, valamint az ott folyó felszíni műveleteket Bastion és Bal partvédő rakétarendszerekkel korlátozták volna.

Ember István*

Modern kumulatív töltetek hatékonyságának vizsgálata

BEVEZETÉS

A kumulatív töltetek alkalmazása a robbantástechnika egy meglehetősen speciális területe. A szakemberek olyan helyzetekben alkalmazzák ezeket az eszközöket, amikor a robbantás fókuszálásával szükséges kilyukasztani egy céltárgyat. Ez a hatalmas, összpontosított energia képes többek között vastag páncélzat átütésére, de egyes különleges változatai „jégpáncél” robbantása esetén is alkalmazhatók. [1]

Mivel a katonai műszaki kutatásoknak kiemelt része a robbantás, így a vizsgált téma is fontos szerepet tölt be, és illeszkedik a szakma meghatározó kutatási irányaihoz. [2] Mint minden veszélyes tevékenység, a robbantás is megköveteli, hogy a kor színvonalának megfelelő modern eszközökkel műveljék annak érdekében, hogy a biztonság, a hatékonyság és a gazdaságosság egyaránt optimális legyen. [3] A 3D-s nyomtatók alkalmazása is fontos része lehet ennek az igénynek. Ezek az eszközök elsősorban mintapéldányok készítésére alkalmasak, de kis darabszámú sorozatok esetében a gyártás eszközei is lehetnek. A széles körben ismert technológia jelenleg még nem képes robbanóanyagok ilyen jellegű nyomtatására, de a töltetek formai elemei akadálymentesen elkészíthetők az eljárással.

A modern nyomtatók tehát lehetővé teszik, hogy a 3D-s modelleket különböző additív technológiákkal készítsük el. Napjaink kutatásai a robbantástechnika, és különösen a kumulatív töltetek területén több ilyen módszert érintenek. Folytak vizsgálatok olvasztásos (SLM – Selective Laser Melting) módszerrel készített béléstestek területén, ahol a hatékonyság fém alapanyag esetében kielégítő volt. [4] Egy másik kísérleti úton a legfrissebb eredmények a szintereléses (SLS – Selective Laser Sintering) módszerrel születtek, ahol rész-ön ötvözetű béléstestek összehasonlító vizsgálatát végezték el. [5] Ez utóbbi esetében a hagyományoshoz képest az új technológiával készült béléstest jobb nyúlási stabilitást mutatott.

Tanulmányunkban bemutatjuk egy ilyen speciális, robbantásokhoz alkalmas eszköz készítésének lépéseit, vala-

mint hatékonyságát és alkalmazhatóságát is vizsgálni fogjuk egyes tűzszerész szakfeladatokkal kapcsolatban. Feltevezésünk szerint a kialakított változatok képesek lesznek hatékonyan átütni a hatástalanításra váró, közepes űrméretű tűzérési gránátok falát. Az elvárt eredményen túl kísérletet teszünk annak elsődleges igazolására, hogy az átütés megkíméli-e a robbanótetekben lévő egyes elemeket, mint pl. a detonátorperselyt. Ez utóbbi eredmény nagyban hozzájárulhat a tűzszerész szakemberek által végzett robbantásos hatástalanítások biztonságosabb végrehajtásához.

A KUMULATÍV TÖLTETEK ÉS A 3D-S NYOMTATÁS

A kumulatív hatást már a 19. század végén felfedezték, és a robbantástechnikában több területen is alkalmazzák. [6] [7] Az ilyen töltetek paraméterei a hatékonyságuk szempontjából meghatározók. A belső elemek egymástól való távolsága és a forgástengelyhez pozicionálása kulcsfontosságú kérdés a gyártás során, mert a pontos összeszerelés optimalizálja a töltet hatékonyságát. A töltetek több elemből állnak (1. ábra), és legtöbbjük nélkülözhetetlen a kívánt penetráció eléréséhez. Létezik azonban néhány olyan elem is – mint például az inert lencse –, amely a penetráció javítását szolgálja, és a töltet ennek hiányában is lehet kellően hatékony.

A fókuszált robbantási energia döntően fém béléstesteken keresztül éri el a céltárgyat, legyenek azok egyszerű fémelemek vagy például egy harckocsi páncélzata. A deformált béléstestet, amelyet a szaknyelvben „jet”-ként nevezünk, becsapódáskor extrém sebesség, nyomás és hőmérséklet jellemzi, amelynek következtében a céltárggyal leírt fizikai viselkedése ideális folyadékok egymásra hatásaként határozható meg. Mindez annak ellenére van így, hogy a fém „jet” hőmérséklete alapján nem lehet folyékony halmazállapotú. [8][9]

Béléstestként vizsgáltak már műanyagokat, kompozitokat és polimereket; ezek a kísérletek előremutató eredménye-

ÖSSZEFOGLALÁS: A modern megoldások alkalmazása a robbantástechnikában elengedhetetlen feltétele a hatékonyságnak és a biztonságnak. A 3D-s nyomtatók egyes esetekben jelentős előnyöket hozhatnak ezen a területen is. A vizsgált kumulatív töltetek kizárólag műanyagból készültek, és képesek átlýukasztani egy közepes űrméretű tűzérési gránát falát. A további eredmények azt is igazolják, hogy a gránát belsejében a „jet” (béléstest) hatékonysága számottevően lecsökken, amely jelentősen növeli a biztonságos alkalmazhatóságát.

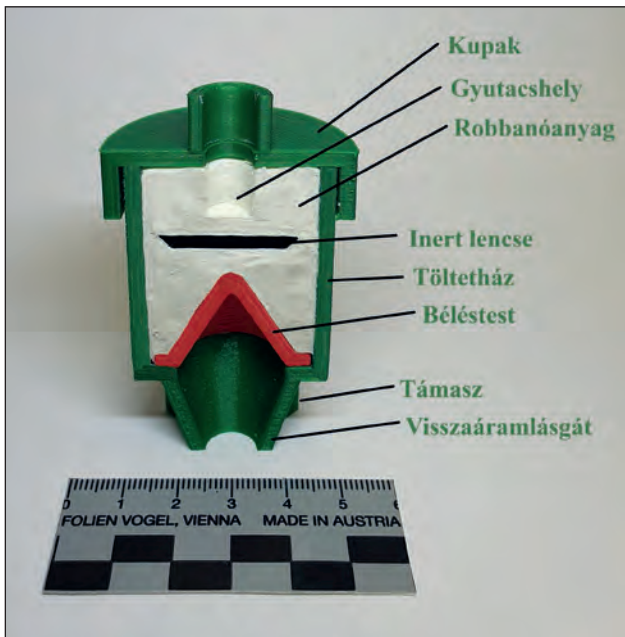
KULCSSZAVAK: kumulatív töltet, robbantás, 3D-s nyomtatás, béléstest, hatástalanítás

ABSTRACT: The modern solutions in the blasting technique are vital conditions of efficiency and safety. In some special cases the 3D printers provide enormous benefits in this field. The tested shaped charges were made only of plastic, and they are capable to penetrate a medium calibre artillery projectile's body. The other outcome of the tests shows us that the efficiency of „jet” is decreasing significantly inside the projectile, which improves the possibilities of safe utilization.

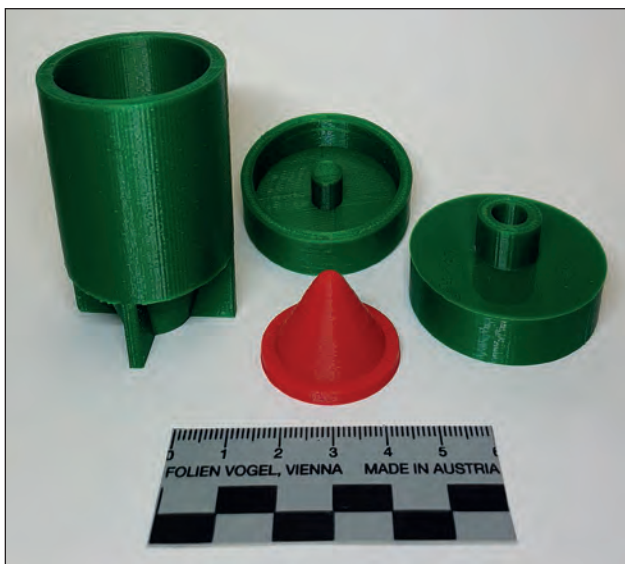
KEY WORDS: shaped charge, blasting, 3D printing, liner, disarming

* Alezredes, MSc, tanársegéd, NKE Hadtudományi és Honvédtisztoképző Kar, Műveleti Támogató Tanszék; doktorandusz, NKE Hadtudományi és Honvédtisztoképző Kar, Hadtudományi Doktori Iskola. ORCID: 0000-0002-9877-0366





1. ábra. A kumulatív töltetek fő részei (A szerző szerkesztése)



2. ábra. A kinyomtatott kumulatív töltetek elemei (A szerző felvétele)

ket hoztak [10][11], és a felsorolt alapanyagokat egyes speciális esetekben napjainkban is alkalmazzák. A 3D-s nyomtatás azonban kitágította a kísérletezési lehetősége-

ket. Több olyan szakmai tanulmány is született, amely a 3D-s nyomtatással készült kumulatív töltetek kialakítását, hatékonyságának körülményeit vizsgálta. [12]

A robbanóanyag – fő töltéként – szintén meghatározó eleme a kumulatív hatás kialakulásának, amelyet nem lehet figyelmen kívül hagyni. Mivel a hatékonysághoz elengedhetetlen a viszonylag nagy detonációs sebesség, ezért alapvetően valamilyen magas hatóerejű robbanóanyagot kell a töltetekben alkalmazni. Ipari körülmények között számításba jöhet például a préselt hexogén, helyszíni elkészítés esetén azonban már valamilyen plasztikus katonai robbanóanyagról kell beszélnünk, mint például a Semtex [13] hadi változatai.

A jelen tanulmányban bemutatott vizsgálatokhoz szükséges töltetek elkészítését hosszas méretezési, tervezési folyamat előzte meg. Ezekon túl több vizsgálat is lezajlott mielőtt sikerült optimalizálni a tölteteket a kitűzött célokhoz. A méretezés célkitűzései az alábbiak voltak:

- a töltet legyen képes 15 mm vastagságú homogén acél átütésére, ezzel megteremtve a lehetőséget a későbbiekben vegyi töltetű tűzérési gránátok hatás-talanításához;
- az elemek mindegyike valamilyen műanyagból készüljön;
- legyen könnyen kinyomtatható, lehetőleg szálhúzásos rendszerű (FDM – Fused Deposition Modelling¹) 3D-s nyomtatóval;
- legyen könnyen összeszerelhető az alkotóelemekből;
- legyen az alkalmazási helyszínen összeszerelhető;
- készüljön viszonylag kevés plasztikus robbanóanyaggal (kevesebb, mint 50 g).

Ezeknek a célkitűzéseknek kétféle, 20 mm belső átmérőjű, kúp alakú béléstesttel szerelt változat felelt meg. A töltetek elemei a töltet házból, a béléstestből, a formázó kupakból (újra felhasználható) és a gyutacs megtámasztására szolgáló kupakból állnak. (2. ábra)

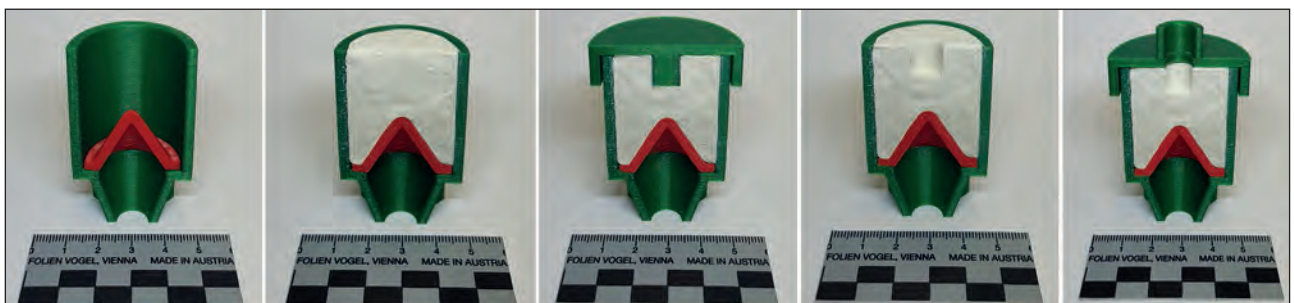
A töltetek összeszerelésének mozzanatai az alábbiak (3. ábra):

- a béléstest behelyezése a töltet házba (rögzítése szükség esetén ragasztással történik);
- a töltet ház feltöltése plasztikus robbanóanyaggal (Semtex-H);
- a robbanóanyaggal feltöltött töltetekben a gyutacs helyének kialakítása a formázó kupakkal;
- a formázó kupak eltávolítása;
- a gyutacs megvezetésére szolgáló kupak felhelyezése a töltetre.

A HATÁSVIZSGÁLAT TÖLTETEI ÉS CÉLTÁRGYAI

A töltetek 3D-s nyomtatással készültek, Craftbot 3 típusú nyomtatókkal. Az alkalmazott nyomtatási alapanyag

3. ábra. A kumulatív töltet elkészítésének folyamata (A szerző felvételei)



1. táblázat. A tesztekhez készített töltetek változatai (A szerző szerkesztése)

Fsz.	Béléstest átmérője	Fókusz távolság	Béléstestforma	Béléstestanyag	Toldalék	Mennyiség
1.	20 mm	1D	kúp	PLA	10,5 cm-es gránáthoz	3 db
2.	20 mm	2D	kúp	PLA		3 db
3.	20 mm	1D	kúp	PLA	122 mm-es gránáthoz	3 db
4.	20 mm	2D	kúp	PLA		3 db
5.	20 mm	1D	kúp	PLA	–	3 db
6.	20 mm	2D	kúp	PLA	–	3 db
Összesen						18 db

politejsav (PLA – Polilactic Acid) volt. A nyomtatás paramétereinek részletes bemutatására a jelen tanulmányban nincs lehetőség, azonban megjegyezzük, hogy az egyes elemek azonos reprodukciós körülmények között készültek.

A töltetek elnevezése az alábbi elvek mentén alakult, hogy pontosan beazonosíthatók legyenek a felhasználás helyén. Az első adat a béléstest belső átmérője (ez minden esetben 20 mm volt), a második a fókusz távolság, amely a belső átmérővel megegyező (1D), vagy annak duplája (2D), a harmadik a béléstest formája (jelen vizsgálatnál minden esetben kúp, azaz „K”). A negyedik adat opcionális, abban az esetben tüntettük fel, ha a töltetet tűzérési gránáthoz alkalmaztuk.

A robbantásokhoz több mint 30 töltethez szükséges elem készült el, de csak 18 db felrobbantása volt szükséges a sikeres vizsgálathoz. A felrobbantott töltetek az 1. táblázat szerinti bontásban készültek el. A tűzérési

gránátok átütéséhez tervezett tölteteket egy-egy íves todalékkal egészítettük ki, hogy megfelelően illeszkedjenek a gránátok hengeres felületére. A fenti okok miatt, a bemutatott ábrákon a töltetek számozása nem releváns a vizsgálat szempontjából.

A töltetek részletes paramétereit a 2. táblázatban feltüntetett adatok mutatják. A helyszíni töltést követően a robbanóanyag tömegét mérésel ellenőriztük, amely 31,2 g és 32,8 g közötti értékre adódott. Az 1,4 g legnagyobb különbség a vizsgálat szempontjából nem jelentős, és jól szemlélteti a helyszíni töltésben rejlő hibahatárokat. Ebből az utóbbi szempontból tehát kívánatos, hogy az adott kumulatív töltet ilyen körülmények, azaz ilyen hibahatár esetén is képes legyen az elvárt teljesítményre.

A céltárgyként 1 db 10,5 cm-es magyar gyakorló repeszromboló tűzérési gránátot, 1 db 122 mm-es szovjet gyakorló repeszromboló tűzérési gránátot és 6 db speciális céltárgyat használtunk. A tűzérési gránátokon történő

2. táblázat. A vizsgált kumulatív töltetek paramétereit (A szerző szerkesztése)

Fsz.	Típus	Külső átmérő (mm)	Magasság (mm)	Töltet háztömege (g)	Béléstest tömege (g)	Robbanóanyag tömege (g)	Szerelt tömege (g)
1.	20-1D-K-10,5	36	64	24,7	3,8	32,6	61,1
2.	20-1D-K-10,5	36	64	24,7	3,8	31,9	60,4
3.	20-1D-K-10,5	36	64	24,8	3,8	32,5	61,1
4.	20-1D-K-122	36	63	25,9	3,8	32	61,7
5.	20-1D-K-122	36	63	23	3,8	32,6	59,4
6.	20-1D-K-122	36	63	25,1	3,8	32,1	61
7.	20-2D-K-10,5	36	84	32,5	3,8	32	68,3
8.	20-2D-K-10,5	36	84	31,2	3,8	32,1	67,1
9.	20-2D-K-10,5	36	84	32,4	3,8	31,3	67,5
10.	20-2D-K-122	36	83	30,9	3,8	31,9	66,6
11.	20-2D-K-122	36	83	32,6	3,8	32,4	68,8
12.	20-2D-K-122	36	83	32,5	3,8	31,6	67,9
13.	20-1D-K	36	61	24,4	3,8	31,8	60
14.	20-1D-K	36	61	22,8	3,8	32,7	59,3
15.	20-1D-K	36	61	24,7	3,8	32,4	60,9
16.	20-2D-K	36	81	31,2	3,8	32	67
17.	20-2D-K	36	81	31,7	3,8	31,2	67,7
18.	20-2D-K	36	81	32	3,8	32,8	68,6





4. ábra. A speciális céltárgy (A szerző felvétele)

tesztelés lehetőségét biztosít, hogy minden kétséget kizáróan igazolható legyen a töltet hatékonysága, akár éles eszközök hatástalanítása esetén is.

A 4. ábrán látható speciális céltárgy egy különleges helyzet modellezésére alkalmas. Mivel a fém béléstesttel szerelt töltetek jelentős átütést képesek okozni, így nagy körültekintést igényel az alkalmazásuk. Számításba kell venni a belső elemek elhelyezkedését, és számolni kell azok esetleges roncsolásával is. A műanyagok esetében feltételezhető, hogy az optimalizált átütési képességű töltet nem végez további hatékony lyukasztást a belső elemeken, mint a detonátorpersely. A speciális céltárgy ezt a helyzetet hivatott modellezni: a 15 mm vastag acéllemez, mint a tüzérségi gránát fala, majd 20 mm távolság – amely a tüzérségi gránátokban szemlélteti a detonátor és a gránáttest belső falának távolságát –, és végül a 3 mm vastag lemez, amely a detonátorpersely falát modellezi.

A robbantásokhoz plasztikus robbanóanyagot alkalmaztunk, de megjegyzendő, hogy folyékony halmazállapotú típus esetén a töltetház kitöltése minden esetben maximális lenne. Természetesen ebben az esetben a bélésrögztése kizárólag szigetelő hatású ragasztóval történhet, amely nem lép reakcióba az alkalmazott robbanóanyaggal. További lehetőség lehet a biztonságos alkalmazás érdekében, ha akár a helyszínen készre keverhető, folyékony halmazállapotú, többkomponensű robbanóanyagot alkalmazunk. [12] Ilyen paraméterekkel rendelkező robbanóanyag jelenleg még nincs alkalmazásban a Magyar Honvédségben, de mindenképpen előremutató lenne a rendszeresítés mérlegelése.

A ROBBANTÁSOK EREDMÉNYEI

A robbantásokkal alapvetően sikerült elérni az elvárt eredményt. A 10,5 cm-es magyar gyakorló tüzérségi gránátok mindkét típusú (egy átmérőnyi és dupla átmérőnyi) eltartással vizsgáltuk a töltetek hatékonyságát, típusonként 3–3 db töltettel. A kisebb változat esetén 12–13 mm átmérőjű homogén lyukakat sikerült kialakítani, azonban egy esetben nem volt teljes az átütés. A két sikeres robbantás esetében a tölteteket 72 mm-re, illetve 73 mm-re helyeztük el a vezetőgyűrűtől a hengeres részen, ahol a falvastagság 15 mm körüli. A sikertelen robbantás csak 28 mm-re történt a vezetőgyűrűtől, ahol a gránát falának vastagsága 18 mm körüli, a kialakult lyuk mélysége pedig a legmélyebb pontján 16 mm volt. Ez az eredmény igazolja, hogy a töltet



5. ábra. A 122 mm-es szovjet gyakorló tüzérségi gránatra helyezett kumulatív töltet (fent) és a robbantás után keletkezett lyukak (lent) (A szerző szerkesztése)

valóban képes az elvárt 15 mm-es átütési teljesítményre. A robbantások helyén a belépő felületen alacsony (cca. 2 mm) perem alakult ki a lyukak körül.

A dupla fókusz-távolsággal készült változatok mindegyike átütötte a céltárgyat. Az elhelyezésnél a fenti tapasztalatok alapján 71 mm-re, 75 mm-re és 77 mm-re helyeztük el a vezetőgyűrűtől a tölteteket a céltárgy hengeres részén. A létrejött lyukak körül 1–3 mm-es perem alakult ki, a behatolás átmérője 9–12 mm közötti intervallumban mozgott. Meg kell jegyezni, hogy a lyukak nem egyenletesek; átmérőjük változó volt, alakjuk helyenként eltért a szabályos körtől.

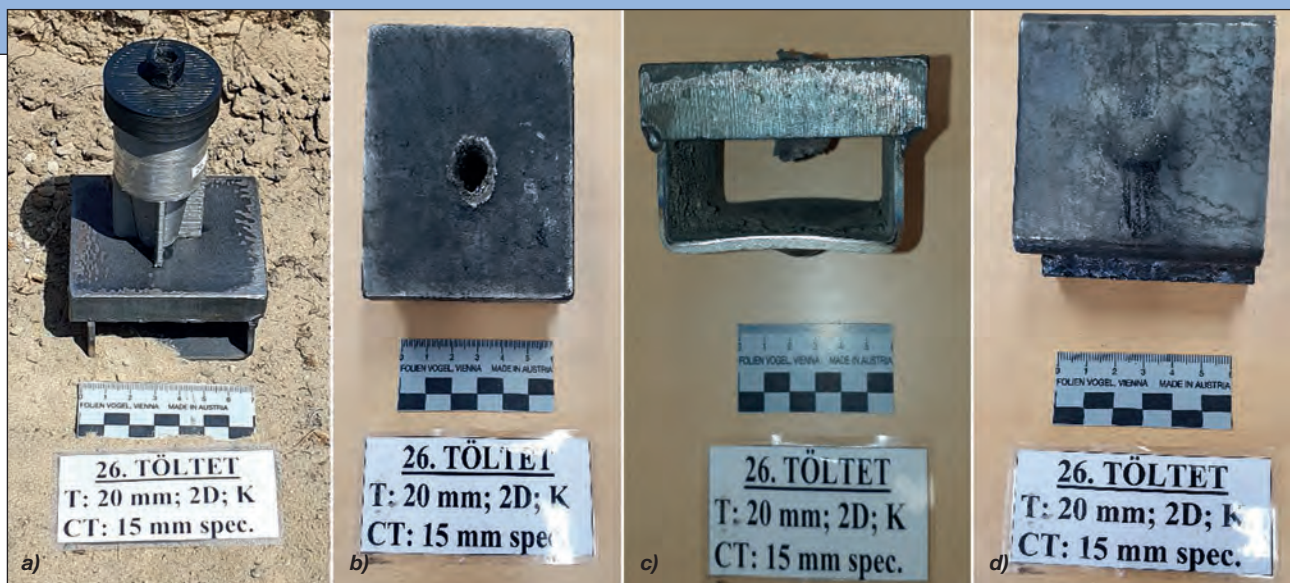
A 122 mm-es szovjet gyakorló tüzérségi gránát robbantásakor is az elvárt eredmények születtek. Ebben az esetben is két fókusz-távolságú változatot vizsgáltunk, típusonként 3–3 db töltetet robbantottunk fel. A kisebb tölteteket a vezetőgyűrűtől 58–61 mm-re helyeztük el, a hengeres részen. Mindhárom töltet sikeresen átütötte a gránát falát. A behatolás helyén 15–35 mm átmérőig kráter szerű anyag-töredékes alakult ki. A lyukak átmérője 12–13 mm között alakult, és alakjuk közelítően szabályos volt.

A nagyobb eltartás esetén szintén sikeres átütést tapasztaltunk (5. ábra). A fenti eredmények alapján a vezetőgyűrűtől 53–54 mm-re helyeztük el a tölteteket, hogy biztosan az elvárt falvastagságon végezzük a vizsgálatokat. A lyukak körül itt is tapasztalható volt anyag-töredékes (0–25 mm átmérőig), és az üreg átmérője nem volt homogén, 10–12 mm körül alakult.

A speciális céltárgyak esetében szintén mindkét fókusz-távolságú töltetet vizsgáltuk, a már bevált 3–3 darabos ismétlésszámmal. A kisebb változatok esetén 13–14 mm átmérőjű lyukat sikerült kialakítani, ahol jól látható perem alakult ki a belépő és kilépő felületeken. A teljes átütés mellett az alsó lemezen csak deformációs volt tapasztalható.

A dupla eltartású típus esetében a fenti tapasztalatok ismétlődtek (6. ábra). A kialakult lyukak átmérője – amely nem homogén az üregben – kisebb lett az előző változathoz képest (8–11 mm). Itt is tapasztalható perem a belépő és a kilépő éleken, és egyetlen esetben sem okozott deformációnál nagyobb kárt az alsó lemezben a robbantás.

Jól beazonosítható tehát, hogy a töltetek képesek a céltárgyakkal kapcsolatban kitűzött, elvárt célok teljesítésére. Hangsúlyozni kell azonban, hogy pozicionálásuknál fontos figyelembe venni a gránát falvastagságát. A magyar 10,5 cm-es repesz-romboló tüzérségi gránátok esetében,



6. ábra. A speciális céltárgyra helyezett kumulatív töltet a), a robbantás eredménye felülnézetben b), oldalnézetben c) és alulnézetben d) (A szerző felvételei)

a vezetőgyűrűtől 75 mm-es távolságban, a hengeres részen a siker biztosra mondható. A 122 mm-es szovjet repesz-romboló tűzérési gránátok esetében 60 mm a megfelelő távolság.

A speciális céltárgyakon elért eredmények azt mutatják, hogy a töltet optimalizálása megfelelően sikerült, mert a céltárgyat átütve gyorsan veszít hatékonyságából a „jet”. Ez a jelenség egyes tűzzerész feladatoknál kifejezetten hasznos lehet, elsősorban akkor, ha a detonátorpersely átütése további nem várt robbanást okozna. Mivel egyik céltárgyon sem keletkezett lyuk, ezért kijelenthető, hogy nagy valószínűséggel éles robbanótesteken is hasonló eredmény születne, ennek bizonyítása azonban még további vizsgálatokat követel éles tűzérési gránátokkal, valós körülmények² között.

ÖSSZEZÉS

Az elvégzett tesztek igazolták a töltetekkel kapcsolatos elvárásokat. Mindkét változat képes volt két jelentősen eltérő, közepes úrméretű tűzérési gránát kilyukasztásra. A penetrációt vizsgálva kijelenthető, hogy az optimalizációs folyamat elérte célját, a 15 mm-es átütés a maximális határérték közelében található, ezt az értéket azonban mindkét változat stabilan teljesíti. A kialakult lyukakat értékelve, a kisebb eltartással készült változatot javasoljuk további alkalmazásra, mert teljesítmény-különbség nincs, éppen ellenkezőleg, még meggyőzőbb eredményeket produkált. Mindezeket túl a kisebb méret gyorsabb nyomtatást és kevesebb alapanyag-felhasználását eredményez.

A speciális céltárgyakon végzett kísérletek azt mutatják, hogy az éles gránátokon történő felhasználás esetén a fém béléstesttel szerelt típusokkal ellentétben a robbanótestek belsejében a hatékonyság jelentősen lecsökken, és nagy eséllyel a „jet” nem okoz átütést a detonátorperselyen. Ez nagyban segítheti a nem várt detonáció bekövetkezésének elkerülését, figyelembe véve, hogy a detonátorokban döntően magas hatóerejű robbanóanyagok találhatóak. Az ilyen típusú robbanóanyagok legtöbbször detonációval [14], deflagrációval³, esetleg elégéssel reagálnak az ehhez hasonló direkt behatásra.

Annak ellenére, hogy a fent vizsgált kumulatív töltetek elsősorban vegyi harcanyagokkal töltött tűzérési gránátok hatástalanításakor alkalmazhatók ABV (atom, biológiai és vegyi, CBRN EOD – Chemical, Biological, Radiological and

Nuclear Explosive Ordnance Disposal) tűzzerész szakfeladat [15] során, érdemesnek tartjuk megvizsgálni hatékonyságukat improvizált robbanótestek (IED – Improvised Explosive Device) [16] hatástalanítása, részegységeinek megsemmisítése esetén is.

Végül kijelenthető, hogy a kitűzött célok mindegyike megvalósult. Sikerült két olyan töltetet is kialakítani, amelyek megfelelnek a 15 mm-es átütési elvárásnak, és alkalmazhatók lehetnek tűzzerész szakfeladatok során. A továbbiakban fejlesztendő területnek tartjuk a kupak mentes vagy bajonettzárás rögzítésének kialakítását.

Az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-21-3-II-NKE-26 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.



HIVATKOZOTT IRODALOM

- [1] Daruka Norbert: „Jégvédekezés robbantással.” *Műszaki Katonai Közlöny*, 24. (4) (2014): pp. 51–67. https://mkk.uni-nke.hu/document/mkk-uni-nke-hu/2014_4_4_Jegvedekezese%20robbantassal.pdf (Letöltve: 2022.7.15.);
- [2] Boda József, Boldizsár Gábor, Kovács László, Orosz Zoltán, Padányi József, Resperger István, Szenes Zoltán: “A hadtudományi kutatási irányok, prioritások és témakörök.” *Államtudományi Műhelytanulmányok*, 16. (2016): pp. 1–23.; <http://www.med.u-szeged.hu/download.php?docID=90702> (Letöltve: 2022.7.15.);
- [3] Padányi József: *A Magyar Honvédség műszaki csapatainak lehetőségei és feladatai békeidőben a természeti- és civilizációs katasztrófák megelőzésében és a következmények felszámolásában*. Kandidátusi értekezés, Budapest, 1994., p. 63.;
- [4] Mulligan, Phillip, Johnson, Catherine, Ho, Johnson, Lough, Cody, Kinzel, Edward: “3D Printed Conical Shaped Charge Performance.” *Proceedings of the*

- 2019 Hypervelocity Impact Symposium, 2019, Destin, United States of America;
- [5] Sun, Shengjie, Jiang, Jianwei, Men, Jianbing, Li, Mei – Wang, Yawei: “Comparison of Shaped Charge Jet Performance Generated by Machined and Additively Manufactured CuSn10 Liners.” *Materials*, 14. (23) (2021): p. 7149. DOI: 10.3390/ma14237149;
- [6] Lukács László: *A kumulatív hatás és a kumulatív töltetek méretezése. Jegyzet a Szárazföldi Haderőnémi Fakultás műszaki hallgatói számára.* Magyar Honvédség, Zrínyi Miklós Katonai Akadémia, Műszaki tanszék, 1992.;
- [7] Lukács László: „A kumulatív töltetek és gyakorlati alkalmazásuk.” *Műszaki Katonai Közlöny*, 20. (1–4) (2010): pp. 175–185.; <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/mkk/article/view/2866/2122> (Letöltés: 2022.7.15.);
- [8] Doig, Alistair: Some Metallurgical Aspects of Shaped Charge Liners. *Journal of Battlefield Technology*, 1. (1) (1998): pp. 1–3.;
- [9] Hatala András: Úreges töltetek I. rész. *Haditechnika*, 44. (2) (2010): p. 72.
- [10] Yi, Jianya – Wang, Zhijun – Yin, Jianping – Zhang, Zhimin: “Simulation Study on Expansive Jet Formation Characteristics of Polymer Liner.” *Materials*, 12. (5) (2019): p. 744.;
- [11] Chang, B. H. – Yin, J. P. – Cui, Z. Q. – Liu, T. X.: „Numerical Simulation of Low-Density Jet Penetrating Shell Charge.” *International Journal of Simulation Modelling*, 14. (3) (2015): pp. 426–437.;
- [12] Agu, Henry Obediah: *The effect of 3D printed material properties on shaped charge liner performance.* PhD értekezés, Cranfield University, United Kingdom, 2019. <https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/handle/1826/15285> (Letöltve: 2022.7.15.);
- [13] Daruka Norbert: „Robbanóanyag-ipari alapanyagok és termékek osztályozásának lehetőségei.” *Műszaki Katonai Közlöny*, 26. (1) (2016): pp. 26–44. <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/mkk/article/view/2187/1456> (Letöltve: 2022.7.15.);
- [14] Kugyela Lóránd: „A többkomponensű robbanóanyagok múltja, jelene és jövője. *Katonai Logisztika*.” 28. (4) (2020): pp. 58–75. <https://www.mkle.net/products/a2020-4-szam/> (Letöltve: 2022.7.15.);
- [15] Steckiewicz, Arthur, Trzcinski, Waldemar: *Investigation of the reaction of energetic materials on jet impact.* 17TH International Seminar New Trends in Research of Energetic Materials, Pardubice, University of Pardubice, 2014, pp. 1038–1049.;
- [16] Berek Tamás: ABV (CBRN) tűzszerészcsoporthoz, mint a biztonsági kihívásokra adott válaszlépés. *Bolyai Szemle*, 25. (4) (2016): pp. 22–34. [https://nkerepo.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/14564/ABV%20\(CBRN\)%20%20zszer%20E9szcsoporthoz,%20mint%20a%20biztons%20E1gi%20kih%20EDv%20E1sokra%20adott%20v%20E1laszl%20E9p%20E9s.pdf?sequence=1](https://nkerepo.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/14564/ABV%20(CBRN)%20%20zszer%20E9szcsoporthoz,%20mint%20a%20biztons%20E1gi%20kih%20EDv%20E1sokra%20adott%20v%20E1laszl%20E9p%20E9s.pdf?sequence=1) (Letöltve: 2022.7.15.);
- [17] Kovács Zoltán: Fontos létesítmények IED elleni védelme. *Műszaki Katonai Közlöny*, 22. (ksz.) (2012): pp. 35–44. https://mkk.uni-nke.hu/document/mkk-uni-nke-hu/2012_k_05%20IED%20elleni%20v%20C3%A9delem%20-%20Kov%20C3%A1cs_Z.pdf (Letöltve: 2022.7.15.).

JEGYZETEK

- 1 Az eljárás során a nyomtató egy műanyag szálát (filamentet) olvaszt meg, amelyből elkészíti a kívánt formákat.
- 2 Korrodált felületű robbanótést, ismeretlen állapotú robbanóanyag vagy harcanyag a gránáttestben stb.
- 3 A deflagráció robbantástechnikai szakkifejezés. A detonációnál és a robbanásnál lassabb, az égésnél gyorsabb folyamat, amely szintén teljes kémiai átalakulást eredményez.

HM ZRÍNYI TÉRKÉPÉSZETI ÉS KOMMUNIKÁCIÓS SZOLGÁLTATÓ KÖZHASZNÚ NKFT.

Telephely: 1024 Budapest II., Szilágyi Erzsébet fasor 7–9. • Postacím: 1276 Budapest 22, Pf. 85 • www.hmzrinyi.hu • terkepzeset@hmzrinyi.hu



- Topográfiai térképek
- Faksimile térképek
- Atlaszok, város- és autótérképek
- Falitérképek
- Szabadidőtérképek
- Légiforgalmi térképek
- Munkatérképek
- Dombortérképek
- Digitális térképészeti adatbázisok
- Légifilmári szolgáltatások

KÖNYV- ÉS TÉRKÉPBOLT:

1024 Budapest II., Filler u. 14.

+36 30 388 4034 • E-mail: ugyfelszolgalat@hmzrinyi.hu

<https://shop.hmzrinyi.hu/>

Nyitvatartás: hétfő–péntek 9:00–16:30

• PrePress – Nyomdai előkészítés

- szöveg-, grafika- és képfeldolgozás, kiadványszerkesztés
- ellenőrző nyomatok, digitális proofok előállítása
- bel- és kültérj tablók, bannerek nyomtatása
- hagyományos és elektronikus montírozás, színrebotás
- nyomóformák előállítása nyomdai filmről, illetve CTP-technológiával

• Gyorsokszorosítás

- színes és fekete-fehér másolás/nyomtatás 330 x 487 mm méretig

• Press – Nyomtatás

- ofszetnyomtatás négy-, illetve hatszínnyomó gépeken, 89 x 126 cm méretig

• PostPress – Kötészetű feldolgozás

- felületnemesítés fóliázással, laminálással 167 cm szélességig
- hajtogatás, spirálozás, sorszámozás
- összehordás, irkakészítés, ragasztókötés
- kasírozás, táblakészítés, aranyozás
- szortiment könyvkötészet
- vákuumformázás
- vákuumformázó szerszámok, terepszaltek előállítása CNC technológiával

6. ábra. Egy Elbit Systems Skylark I-LE Miniature UAS indítási helyzetben a 2,28 m hosszú indítósinen, a déli határszakasz őrzésének megerősítése során (Fotó: HM Zrínyi NKft. / Kálmánfi Gábor)



Dr. Palik Mátyás* – Dr. Rohács József**

UAV, UAS, RPA, drón, robotrepülőgép – új technológiák alkalmazása **II. rész**

A szerzők tanulmányukban a személyzet nélküli repülő eszközök angol nyelvű rövidítését, megnevezését ismertetik. A cikk első részében a repülőgépek osztályozását mutatták be az olvasóknak, valamint az UAV, UAS és a drón szakkifejezések jelentéstartalmát értelmezték. Az eszközöket maximális felszállótömegük, repülési sebességük, hatósugaruk, repülési magasságuk, továbbá a repülési időtartamuk szerint osztályozták. A tanulmány második részében az érdeklődők a drónok további katonai, valamint civil alkalmazási területeivel ismerkedhetnek.

A III. osztály első kategóriája a *kis méretű drónokat* (SUAS) foglalja magába. Ezek között a drónok között forgószárnyas UAS-eket is találunk, de a merev szárny ebben a kategóriában még mindig nagyobb arányban van jelen. A harcászati egységeket (ezred, zászlóalj) támogatják 5000 láb AGL magasságig, maximum 50 km hatótávolságon belül. A kategória ismert tagja a Boeing Inc. Insitu leányvállalatának drónja, a Scan Eagle (7. ábra). Az UAS EO- és/ vagy IO-kamerát hordoz egy könnyű, stabilizált rendszerben, valamint egy integrált kommunikációs alrendszerrel, amelynek hatótávolsága meghaladja a 100 km-t. A légi platform több mint 20 órányi repülési idővel rendelkezik. Szárnyfesztávolsága 3,1 m, hossza 1,2 m, tömege közel 20 kg. Maximális sebessége 150 km/h, átlagos utazósebessége 90 km/h. Az újabb változatok nagyobb felbontású kamerát, egyedi tervezésű, C módú transzpondert[®] és új videorendszerrel kaptak. A ScanEagle-nek nincs szüksége repülőtérré az üzemeléshez. Az Insitu által szabadalmazta-

tott pneumatikus egységgel (SuperWedge) indítják, és egy speciális visszatérő rendszer segítségével (Skyhook) „fogják be”, amely a szárnyvégen lévő horog segítségével kap el egy 9,1–15,2 méter hosszú rúdon lógó kötelet. Ezt a precizitást a kiváló minőségű differenciált GPS (Global Positioning System – Globális Helymeghatározó Rendszer) teszi lehetővé. A teljes rendszer négy légi járműből, egy földi irányító állomásból, egy távoli videoterminálból, a SuperWedge indító és a Skyhook visszatérő rendszerből áll. [19]

7. ábra. Egy ScanEagle UAV a katapulton, indítás előtt (Al-Asad, Irak 2005) (Forrás: usmc.mil)



* Ezredes, katonai repülési dékánhelyettes, egyetemi docens. NKE Honvédtisztképző és Hadtudományi Kar, Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék. ORCID: 0000-0002-2304-372X

** Professzor emeritus. BME Repüléstudományi és Hajózási Tanszék. ORCID: 0000-0002-4607-9063





8. ábra. Egy izraeli katona egy Skylark UAV-t készíti a levegőbe indítani (Forrás: The Israel Defense Forces)

A III. osztály következő kategóriája a 15 kg alatti drónokat foglalja magába, amelyeket MUAV-nek nevezünk. Ezek között a drónok között mind forgószárnyas, mind merev szárnyú légi platformok is találhatóak. A harcászati alegységek (század, szakasz, osztag) parancsnokait támogatják azáltal, hogy felderítési információkat biztosítanak számukra. Jellemző példája ennek a kategóriának az izraeli fejlesztésű Skylark (8. ábra), egy kis méretű, kézből indítható, harctéri felderítő UAV, amelyet 2004-ben rendszeresített az izraeli hadsereg. Kis méretéből adódóan könnyen szállítható, ezért is láttak el vele minden izraeli gyalogos egységet. A drón nagy felbontású valós idejű képet készít az általa felderített területről, amit a földi alegységek számára online közvetít. A kezelő egy hordozható vezérlőegység segítségével irányítja a repülőgépet, amelyen megjelenik a Skylark által sugárzott videokép. Az eszköz rendelkezik infravörös érzékelővel is, amely biztosítja az éjjel, és bonyolult időjárási körülmények közötti alkalmazhatóságát. A géptest törzse egy cső, amelyre a hajtóművet, a szárnyat, a vízszintes és függőleges vezérsíkokat, valamint a kamerarendszert rögzítették. Elektromos hajtóműve halk és gazdaságos. A hatótávolsága 10 km, maximális repülési ideje 2 óra, legnagyobb sebessége 60 km/h. A rendszert több mint 20 ország, köztük hazánk is rendszeresítette. [4]

A III. osztály utolsó csoportja a mikroméretű légi járművek (MAV) kategóriája, ezek közé azok a miniatűr légi eszközök tartoznak melyek 66 Joule energiaállapotnál kisebb értékűek. Harcászati alegységek (szakasz, raj, egyéni harcos) fegyverzetébe tartoznak. Különböző felépítésben: rögzített szárnyú, forgószárnyú és csapkodó szárnyú repülési koncepciók számos változatában készülnek. Napjaink aszimmetrikus hadviselésében felértékelődtek a kis méretű, olcsó, kézből indítható, kisalegység szinten alkalmazható drónok, különösen a szárazföldi haderőnél és a tengerészgyalogságnál. Ezeket az eszközöket kiválóan lehet alkalmazni a megváltozott körülmények között megvívandó városi harcokban is, mivel a drónok elektromos meghajtásuknak köszönhetően csendesek, könnyen hordozhatók, akár egy laptop kezelőfelületéről is irányíthatók. Hasznos terhelésük egy EO- vagy IR-kamera lehet, amelyek képeit valós időben juttatják el a kezelőikhez. A felhasználásuknál figyelembe kell venni, hogy az alkalmazási magasságukban romlik a látás alapján történő tájékozódás lehetősége, a műveleti területre jellemző rossz látási körülmények, a por, az alacsonyan lebegő homok, a tüzek és a füst miatt. Ezek korlátozzák a célok időben történő felderítését, rontják az összeütközések elkerülésének lehetőségét. A kategória egyik legkisebb rendszere a Black Widow (9.



9. ábra. A Black Widow MAV [25]

ábra), amely egy kis méretű, rögzített szárnyú légi jármű. Tömege mindössze 50 gramm, amelynek felét a primer akkumulátorok tömege teszi ki. A miniatűr drónt egy villanymotor hajtja, amely azt 20 m/s-os maximális repülési sebességre gyorsítja fel. Néhány évnyi fejlesztés során a program egy mindössze 2 perces, teher nélkül repülni képes, légi járműből egy 30 perces repülni képes rendszerre fejlődött. Az eszköz 769 láb magasságból színes videót továbbít az 1,8 km-re lévő bázisállomásra. A légi platform megnövelt szárnyfelülettel és szárnyterheléssel 60 km/h maximális repülési sebességet érhet el. A gyártó AeroVironment egy könnyű súlyú, hordozható, univerzális földi vezérlőegységet fejlesztett ki a drón számára, amely egy laptop méretű vezérlőegységből, és egy antennából áll. Minden lényeges adat rákerül a színes, nappali fényben olvasható videoképre. A drón egyszer használható, kazetás, pneumatikus kilövő rendszerből indítható. [20]

A CIVIL DRÓNOK ALKALMAZÁSI TERÜLETEI

Amint a méretük és a beszerzési árak bárki számára elérhetővé tette a drónokat, azonnal megkezdődött azok civil alkalmazása is. Ennek ellenére a drónok tömeges városi alkalmazása csak lassan halad. Ennek okát a következő öt tényező és érdek együttes hatása eredményezi:

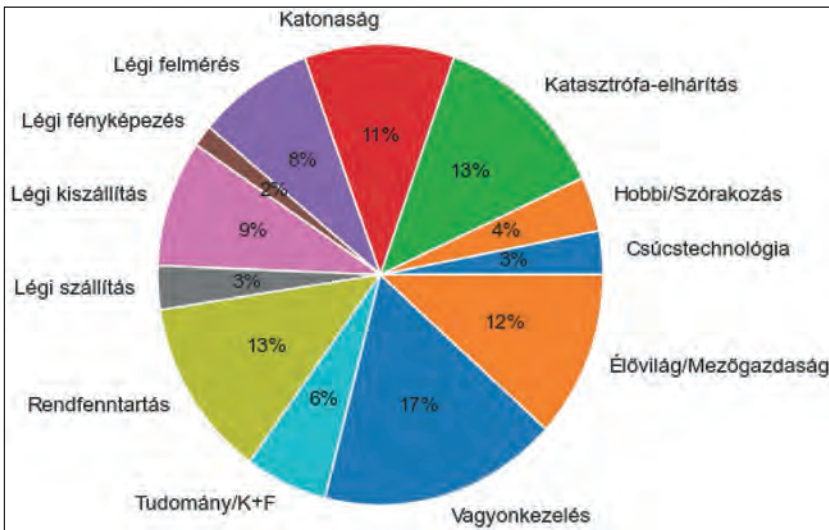
I. A városvezetők szívesen vennék, ha a drónok ellenőriznék a városi út-, vezetékálózatokat, épületeket, tereket, mérnék a környezetterhelés valós értékeit, vagy segítenének a donorszervek szállításában.

II. A gazdaság szereplői a gyors alkatrészszállítást, a logisztikai rendszerek fejlesztését, vagy a csomagok, étel stb. kiszállítását szeretnék gyorsan, olcsón és biztonságosan megoldani.

III. A társadalom kedveli a drónokat, mint érdekes játékokat, de fél a személyes szféra (illetéktelen) ellenőrzésétől, a drónok okozta esetleges balesetektől és a környezetterheléstől, például a zajtól.

IV. A törvényalkotók, a felügyeleti szervek késlekednek a szükséges szabályozás megalkotásával, részben az eddigi gyakorlati ismeretek és mérési adatok hiánya miatt.

V. Végül talán a legfontosabb probléma, hogy a jelenleg alkalmazott közlekedés-, szállítás-felügyeleti szabályozási



10. ábra. UAV-alkalmazások megoszlása 2018–2020 között [21]

rendszer – benne a légi forgalom menedzselésével –, alkalmazatlan a nagy számban megjelenő, és akár a magas épületek között is repülő drónok forgalmának a felügyeletére, irányítására.

Annak ellenére, hogy sokan úgy vélik, a drónok forgószárnyas, elektromos hajtású légi eszközök, valójában a civil alkalmazás terén is vannak merev szárnyú UAV-k és akár kisebb-nagyobb pilóta nélküli ballonok, léghajók is. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Repüléstudományi és Hajózási Tanszék vizsgálatai alapján a 2018–2020-as években a drónok civil alkalmazásával foglalkozók 63%-a csak forgószárnyas drónokat alkalmazott, ezzel szemben csak merev szárnyú pilóta nélküli eszközöket mindössze 16%-uk. A többiek vegyes gépparkkal dolgoztak. [21]

A 10. ábra szerint a drónok alkalmazásában ma már a civil felhasználás a meghatározó, még akkor is, ha a katonai alkalmazással együtt számolják a részben védelmi feladatokat is ellátó rendfenntartást, és a vagyonevédelmet is. Figyelemre méltó, hogy a katasztrófavédelem, az élővilág megfigyelése, a mezőgazdaság, a vagyonekezelés és a rendfenntartás céljaira alkalmazzák a legtöbb pilóta nélküli légi eszközt. [21]

11. ábra. A felső-ausztriai repülőgép-beszállító FACC dróntaxija látható az Ars Electronica Center előterében (Forrás: vog.photo)



A civil drónok esetében is fontos a szakszerű elnevezés. Ezek olyan repülőgépek, amelyek fedélzetén nincs pilóta, így lehet akár embert is szállítani a drónnal, amely részben autonóm üzemmódban, részben műveleti központból felügyelve használhatnak légi taxiként. (11. ábra)

A drónok civil alkalmazási feltételeinek fontos szabályai, európai uniós keretrendeletek formájában már az elmúlt néhány évben megszülettek.

A civil drónok, a jelenlegi rendszerben több szempont szerint is csoportosíthatók. Az alkalmazás szempontjából létezik a *nyílt*, az *engedélyköteles* és a *speciális* kategória. A *nyílt* kategória szabályai szerint a maximum 25 kg felszálló tömegű gépeket emberek felett nem, és tőlük csak biztonságos távolságra – a földtől maximum 120 m magasságig látótávolságon (VLoS – Visual Line of Sight) belül – lehet alkalmazni. Az ebbe a kategóriába tartozó drónok veszélyes anyagokat nem szállíthatnak.

Az *engedélyköteles* kategóriába tartoznak azok a repülések, amelyek harmadik fél számára bármilyen jellegű kockázatot jelenthetnek. Ilyenkor a repüléseket a normál polgári repülési szabályok alkalmazásával kell szervezni. A két kategória között létezik egy *speciális* kategória is, amely során a repülések már nem kezelhetők a *nyílt* kategória szerint, de a gép üzemeltetője vagy használója bizonyítani tudja, hogy az harmadik fél számára csak korlátozottan jelenthet kockázatot. Ebben a kategóriában drónt üzemeltetni szintén egyfajta engedélyezési eljárást igényel, amely kockázatelemzéssel és hatósági műveleti engedélykérés-sel jár, de az eljárás kevésbé szigorú.

A civil drónokat az érvényes szabályozás a 2. táblázat szerint osztályozza.

Ma már a *nyílt* kategóriába tartozó civil drónok használata is műszaki vizsgához, valamint drónpilóta-jogosítvány meglétéhez kötött, amelynek alapkövetelményeit a 3. táblázat mutatja. A jogalkotók azokat a kedvtelési célú drónalkalmazásokat és azon drónrepüléseket, amelyek nem jelentenek veszélyt másokra, nem akadályozzák.

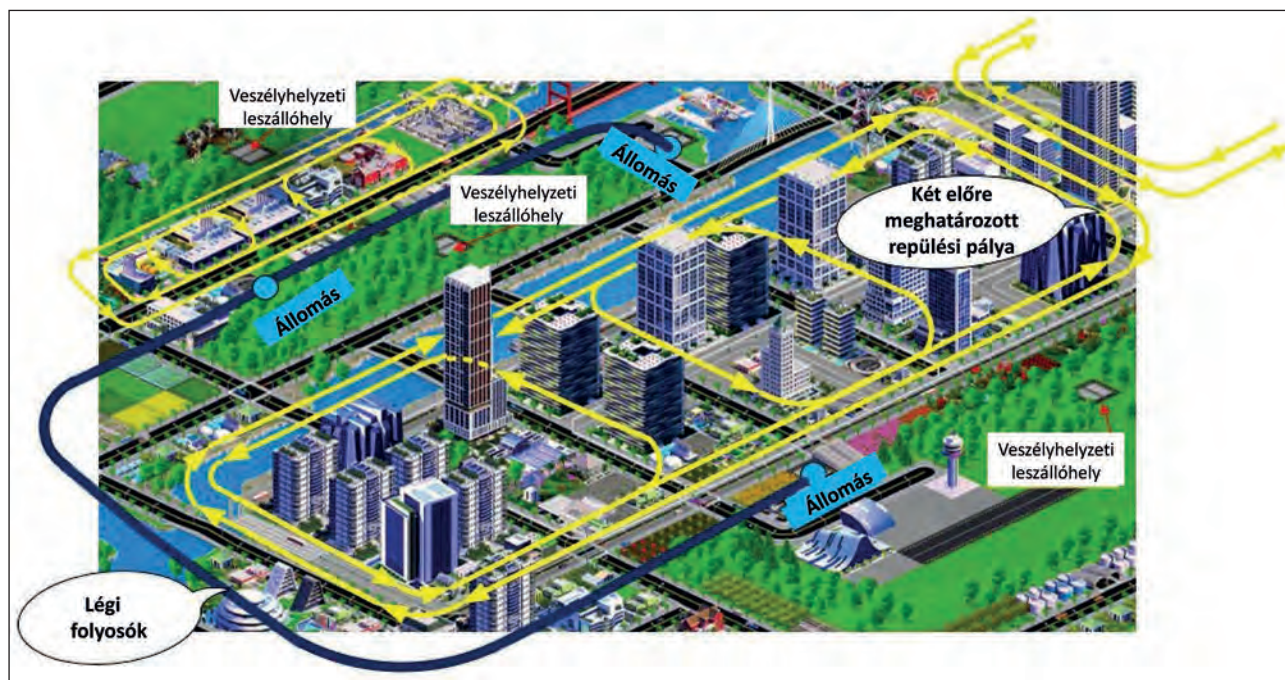
2. táblázat. A civil alkalmazású drónok osztályozása főbb jellemzőik szerint (BME Repüléstudományi és Hajózási Tanszék megbízással készített kutatási jelentéshez készítette Gál István)

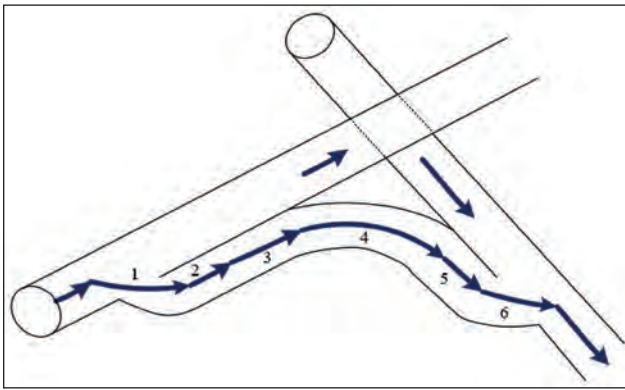
Jellemzők	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Maximális felszállótömeg	< 250 g	< 90 g, vagy fejnek átadott energia kevesebb, mint 80 J	< 4 kg	< 25 kg, bármely jellemző méret < 3	< 25 kg	< 25 kg, bármely jellemző méret < 3, merevszárnyú lehet (kivéve kötött)	< 25 kg, bármely jellemző méret < 3
Maximális vízszintes repülési sebesség	< 9 m/s	< 9 m/s	–	–	–	–	< 50 m/s
Alacsony sebességű üzemmód (nem merevszárnyú típus esetében)	–	–	3 m/s	3 m/s	–	5 m/s	–
Maximális repülési magasság a felszállás helyétől	120 m	120 m	120 m	120 m	–	120 m	120 m
Képzettség a pilóta számára	–	✓	✓	✓	–	✓	✓
Biztonságos irányíthatóság (meghibásodás esetén is)	✓	✓	✓	✓	✓ autonóm üzemmódok nem lehetnek	✓ előírt biztonságos repülés-megszakítási üzemmód is	✓ előírt pályatervezési és biztonságos repülés-megszakítási üzemmód is
Személyi sérülést mérséklő kialakítás	✓	✓	✓	–	–	–	–
Robusztus kialakítás	–	✓	✓	–	–	–	–
Jogosulatlan hozzáféréstől védett adatkapcsolat	–	–	✓	✓	–	✓	✓
Adatkapcsolati hiba esetén helyreállító, vagy biztonságos repülést megszakító üzemmód	–	✓	✓	✓	–	✓ a minőséget monitorozó és előrejelző rendszerrel	✓ a minőséget monitorozó és előrejelző rendszerrel
Meghatározott maximális zajszintelőírás	–	✓	✓	✓	–	✓	✓
Zajszint feltüntetése járművön (kivéve a merevszárnyú típust)	–	✓	✓	✓	–	✓	✓
Meghajtás	kizárólag elektromos	kizárólag elektromos	kizárólag elektromos	kizárólag elektromos	–	kizárólag elektromos	kizárólag elektromos
Követő mód távolság	< 50 m	< 50 m	–	–	–	–	–
Kötött esetben kábelhosszúság (szilárdsági követelményekkel is)	–	< 50 m	< 50 m	–	< 50 m	–	–
Egyedi, szabványos azonosítószám	–	✓	✓	✓	–	✓	✓
UTM-kompatibilis, önellenőrző helymeghatározó rendszer	–	✓	✓	✓	–	✓	✓
Alacsony akkumulátorfeszültség esetén riasztás, a visszatérést lehetővé tevő szintnél	–	✓	✓	✓	–	✓	✓
Azonosítást és irányíthatóságot lehetővé tevő, a hagyományos repülőgépektől megkülönböztethető fénytechnika alkalmazása	–	✓	✓	✓	–	✓	✓
Felhasználói kézikönyv (Meghatározott tartalommal, EASA tájékoztatóval.)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

3. táblázat. Nyílt műveleti kategóriában működtetett drónok alapvető repülési jellemzői és a vezetőikkel szemben támasztott vizsgakövetelmények (BME Repüléstudományi és Hajózási Tanszék megbízásos kutatási jelentéshez készítette Gál István)

	A1	A2	A3
Légi eszköz	C0, C1, vagy egyenértékű	C2	C2, C3, C4, vagy egyenértékű
Repülés lakott, kereskedelmi, ipari vagy szabadidős területek felett	–	–	legalább 150 m vízszintes biztonsági távolság
Repülés embertömeg felett	TILOS	legalább 30 m-es, vízszintes biztonsági távolság	TILOS
Repülés egyén felett	C1 gépnél kerülendő	legalább 5 m-es, vízszintes biztonsági távolság kis sebességű üzemmódban, megfelelő időjárási körülmények	TILOS
Követési üzemmódban használat	< 50 m	–	–
Felhasználói kézikönyv ismerete	✓	✓	✓
Pilóták számára kötelező, legalább 75 százalékos elméleti vizsga az alábbi témakörökben			
Repülésbiztonság	✓	✓	✓
Légtérkorlátozások	✓	✓	✓
Légi közlekedési szabályok	✓	✓	✓
Emberi teljesítőképesség határai	✓	✓	✓
Operatív eljárások	✓	✓	✓
Általános UAS-ismeretek	✓	✓	✓
Adatvédelem, személyiségi jogok	✓	✓	✓
Biztosítás	✓	✓	✓
Repülésvédelem	✓	✓	✓
Meteorológia	–	✓	✓
UAS repülési teljesítménye	–	✓	✓
Földi kockázat technikai és operatív jellegű csökkentése	–	✓	✓

12. ábra. A városi drónközlekedési hálózat kialakítása [21]





13. ábra. Drón irányváltotatása városi környezetben, előre adott repülési pályák alkalmazásakor. 1. sávváltás, 2. repülés az új párhuzamos sávban, 3. emelkedés (vagy süllyedés) a keresztező pálya szintjére, 4. állandó magasságon végrehajtott irányváltás, 5. haladás az új sávban a tervezett irányba, 6. besorolás a légi folyosó sávjába és a repülés folytatása [21]

A legfontosabb megoldandó probléma a drónok városi közlekedésbe történő illesztése, illetve az UAV-k repüléseinek a menedzselése. A megoldást támogató legfontosabb kutatás-fejlesztési irányok, eredmények a következők:

- a drónközlekedésre ki kell alakítani egy megfelelő közlekedési rendszert „légi úthálózzal” (12. ábra), amelyben az UAV-k kijelölt utakon repülnek, és ezek az utak nem keresztezik egymást; (13. ábra) [21],
- a forgalom ellenőrzésének támogatása az infrastruktúrában (a házak falába, az utakba) épített mikroérzékelők sokaságával;
- az akadályokat és egymást érzékelő és elkerülő rendszerek, a drónok együttes repülését megoldó eljárások kifejlesztése és alkalmazása; [22]
- automatizált központi felügyeleti és menedzselő rendszer kiépítése.

Ez a rövid gondolatmenet is mutatja, hogy a drónok polgári alkalmazása előtt még sok feladatot kell megoldani, de a fejlődés töretlen, és egyre gyorsabb.

ÖSSZEZGÉS

A tanulmány alapvetően az UAV-k világában próbált alapvető eligazítást adni. A szerzők, a terminológia összefoglalása után röviden ismertették a katonai alkalmazási és kategorizálási lehetőségeket, továbbá a jobb szemléltetés céljából UAV-típuspéldákat mutattak be. Mivel a drónok civil felhasználása egyre gyorsabban fejlődik, ezért a cikket a területet is vázlatosan ismertette.

A drónok fejlesztésével jelenleg számos egyetem, kutatóintézet és egyéb vállalkozás is foglalkozik. [23] A drónok és alkalmazásuk magyarországi fejlesztésére létrehozott szervezet koordinációs feladatait a Közlekedéstudományi Intézet és a Digitális Jólét Program (DJP) látja el. A Magyarországi Drón Koalíció az Innovációs és Technológiai Minisztérium, a Széchenyi István Egyetem, a Budapesti

Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, valamint a HungaroControl Zrt. kezdeményezésére alakult meg 2021. május 4-én. Alapító tagjai között – amelyek száma meghaladja a hatvanat – minisztériumok, háttérintézmények és érdekképviseleti szervek, valamint akadémiai és iparági szereplők egyaránt megtalálhatók. A Magyarországi Drón Koalíció alapvető célja, hogy közreműködjön a megfelelő jogszabályi keretrendszer kialakításában, és támogassa a pilóta nélküli légi járművek, illetve az azokon alapuló technológiák alkalmazási területén működő hazai vállalkozásokat, ipari szereplőket. Célja, hogy hazánk az UAV-k használata terén mihamarabb a világ élvonalba kerüljön. Az egységes európai uniós jogszabály néhány éve már létrejött és számos területet szabályoz, de sok kérdést tagállami hatáskörben tart. Ezek kidolgozása is a Drón Koalíció feladata. További célja, hogy a magyar vállalkozások nagy arányban vegyenek részt pilóta nélküli légi járművek fejlesztésében és gyártásában, egyetemi vagy nemzetközi partnerségben. [24]

HIVATKOZOTT IRODALOM

- [19] Hang Leong Lim, „Network payload integration for the Scan-Eagle UAV”, (Naval Postgraduate School, Monterey, California, thesis, 2007). https://calhoun.nps.edu/bitstream/handle/10945/3117/07Dec_Lim_Han.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Letöltve: 2022.1.12.);
- [20] Joel Grasmeyer, Matthew Keennon „Development of the Black Widow Micro Air Vehicle,” *American Institute of Aeronautics and Astronautics, AIAA-2001-0127*, <https://doi.org/10.2514/6.2001-127>;
- [21] Dávid Szirczák, Dániel Rohács „Automated Conflict Management Framework Development for Autonomous Aerial and Ground Vehicles. *Energies* 2021. 14, 8344. <https://doi.org/10.3390/en1424834>;
- [22] Dinh Dung Nguyen, Jozsef Rohacs, Daniel Rohacs „Autonomous Flight Trajectory Control System for Drones in Smart City Traffic Management”, *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2021. 10, 338. <https://doi.org/10.3390/ijgi10050338>;
- [23] Palik, Mátyás (szerk.), *Légiközlekedés-biztonsági kutatások*, (Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem 2021);
- [24] Mi a Drón Koalíció? <https://dronkoalicio.kti.hu/rolunk/> (Letöltve: 2022.5.4.);
- [25] Forrás: <https://defense-update.com/wp-content/uploads/2011/09/Black-Widow-Micro-UAV.jpg>.

JEGYZETEK

- 6 A transzponder a repülésben használt radar-válaszjeladó megnevezése, amely név az angol transmit (továbbit, sugároz) és responder (válaszadó) szavak összevonásából származik. A C módú válaszjeladók azonosító kódjukon kívül magasságadatot is sugároznak. (A szerk.)

Haditechnika magazint már olvashatja a laptapir.hu weboldalon is!

Letöltheti táblagépre, okostelefonra, így bárhol, bármikor eléri.



1. ábra. A német fegyveres erők (Bundeswehr) egy páncélos alegysége a Munster közelében található katonai gyakorlótéren Leopard 2A7 harckocsikkal vett részt a „Land Operation Exercise 2017” gyakorlaton (Fotó: Patrik Stollarz) [19]



Tóth András*

A Leopard harckocsi magyar típusváltozata: a Leopard 2A7HU

KÉPESÉGFEJLESZTÉS

A Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program keretében beszerzett szárazföldi technikai eszközök, a vegetálás hosszú időszakát követően, jelentős képességfejlesztést valósítanak meg a szárazföldi haderőnem területén. A katonák új egyéni harcászati felszerelése mellett a Magyar Honvédség arsenálja új önjáró tüzérségi eszközökkel, páncéltörő fegyverekkel, gyalogsági harcjárművekkel és harckocsikkal gyarapodott. Ezzel a harckocsi-beszerzéssel egy hosszú leépülési folyamat állt meg, és a fegyvernem elindulhatott a fejlődés útján. A régi, szovjet gyártmányú szárazföldi eszközök cseréje Magyarország 1999-es NATO- és 2004-es európai uniós csatlakozása óta várat magára. Ezekkel a szárazföldi rendszerekkel a Magyar Honvédség jelenős képességfejlesztést hajt végre, amelyek lehetővé teszik számára a NATO-követelményeknek történő megfelelést.

A Leopard harckocsiból, és annak különböző változataiból több mint 3000 db készült, amelyek összesen 19 országban teljesítenek szolgálatot (2. ábra). A Leopard

2. ábra. Egy Leopard 2A7-es harckocsi a 2020-ban, a honvédelem napja alkalmából rendezett haditechnikai és légi bemutatón, Budaörsön (A szerző felvétele)



ÖSSZEFOGLALÁS: A 2017-ben indult Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program részeként, a Magyar Honvédség (MH) jelentős mennyiségben szerez be a szárazföldi haderő számára korszerű haditechnikai eszközöket, köztük 44 darab Leopard 2A7HU és 12 darab Leopard 2A4HU harckocsit. Ezek a korszerű harckocsik jelentős képességnövekedést hoznak a Magyar Honvédség rendszerébe.

KULCSSZAVAK: harckocsi, harckocsi-generációk, harckocsiképesség, Leopard 2A7HU, Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program

ABSTRACT: Under the National Defence and Armed Forces Development Program, which was launched in 2017, the Hungarian Defence Forces will procure a significant amount of modern military equipment for the ground forces, including 44 Leopard 2A7HU and 12 Leopard 2A4HU MBTs (Main Battle Tanks). These state of the art MBTs will bring a significant increase in capabilities to the HDF land system.

KEY WORDS: MBT, generations of MBT's, tank capability, Leopard 2A7HU, National Defence and Armed Forces Development Program

* Alezredes. MH Haderőmodernizációs és Transzformációs Parancsnokság, Elemzési és Tervezési Igazgatóság, kiemelt vezető referens, mb. blokkvezető. ORCID: 0000-0002-4938-3589





3. ábra. Egy Leopard 2A7-es és egy T-72-es harckocsi egymás mellett a DEMOEX képességbemutató gyakorlaton 2021-ben, a várpalotai gyakorlótéren (A szerző felvétele)

2A7HU harckocsi gyártója a német Krauss-Maffei Wegmann (KMW), amely a francia Nexter Defense System-mel közös cégben, KNDS (KMW – Nexter Defence System) néven gyártja ezeket az eszközöket.

A Leopard 2A7HU harckocsi a világ jelenlegi legmodernebb haditechnikai eszközei közé tartozik. [1] E harckocsi a hagyományos értelmezés szerint 4. generációs harckocsi.¹ A szofisztikáltabb elméletek alapján 6. generációs harckocsinak is tekinthető.² Akármelyik értelmezést vesszük is alapul, a katonai szakértők szerint a Leopard 2A7 jelenleg a világ egyik legkorszerűbb harckocsija. [2]

A 44 darab (NATO szervezeti felépítésében egy zászlóalj méretű alegység) Leopard 2A7HU harckocsi felkészített, kiképzett, összekovácsolt kezelőszemélyzettel és megfelelően kidolgozott alkalmazási elvekkel komoly képességet jelent a Magyar Honvédség számára. (3. ábra) A harckocsi mellett a Magyar Honvédség állományába kerül a mozgástámogatást biztosító 3 darab Leguan 2HU hídvető harckocsi, valamint 5 darab többcélú, modulárisan átépíthető Wisent 2HU harcjármű, amelyek a műszaki támogatás mellett alkalmasak vontatási feladatok végrehajtására is. Ezekon felül természetesen a harckocsik közötti szállításának céljából nehézgépszállító és hídelemszállító szerelvényeket is beszerettek. A Leopard 2A7HU harckocsik és azok képességei mellett, a kiképzési célra lízingelt 12 db Leopard 2A4HU harckocsi ugyancsak komoly harcászati képességekkel rendelkezik. Ezek az eszközök a lízing lejárta, valamint a 21. századi követelményrendszernek meg-

4. ábra. A Leopard 2A7-es bemutatója a 2010-ben, Párizsban rendezett Eurosatory kiállításon [20]



felelő átalakítást követően, a Magyar Honvédség műveleti feladatrendszerébe integrálható harckocsialegységek részét képezhetik. Bár a 2A4-esek lényegesen korosabbak és szerényebb harcértéket képviselnek, mint a legmodernebb Leopard 2A7HU típus, de a szükséges átalakítások után, tűzerejük megközelíti, mozgékonyságuk meg is haladja az A7HU képességeit, egyedül a páncélvédelmük marad el a „nagy testvér” képességeitől.

A Leopard 2A7 harckocsit 2010-ben mutatták be a párizsi Eurosatory kiállításon. [3] (4. ábra)

A LEOPARD 2A7HU TECHNIKAI PARAMÉTEREI

A harckocsit a klasszikus elvek szerint három összetevő, illetve azok kombinációja teszi a szárazföldi haderőnem fő ütőerejévé. Ez a három „aranyháromszögnek”³ is nevezett összetevő – a páncélvédelem, a mozgékonyság és a tűzerő – határozza meg a harckocsi technikai potenciálját. A Leopard 2A7HU az egyik legmodernebb harckocsinak tekinthető, azonban nem egy új ötlet alapján tervezett, új prototípusból kifejlesztett projektharckocsiról van szó. A Leopard 2 harckocsit az 1970-es években fejlesztették ki, és 1979-ben állt először szolgálatba. A harckocsi azóta folyamatos tökéletesítés fejlesztés alatt áll, a fejlesztése az alkalmazó országok, a követelménytámasztók bevonásával történik. Ennek a 40 éves fejlesztésnek az eredménye ez a harckocsitípus. Minden egyes eleme, minden egyes alkotórésze a tudatos (szakmai) korszerűsítés nyomán jött létre. (1. táblázat)

A Leopard 2A7 harckocsi páncélvédelméről – mint a túlélőképesség fontos eleméről – a kompozit merőleges síklemez, és a döntött előtétpáncél gondoskodik. A páncélzat pontos összetétele természetesen titkos, de a gyártó adatai szerint a harcjármű sikeresen ellenáll a jelenleg elérhető, modern páncéltörő fegyverek általi fenyegetéseknek. A gyártó, a beépített területeken vívott harc sikere érdekében kifejlesztett a harckocsijához egy ún. 360°-os kiegészítő páncélzatot. Ez a kiegészítő páncél igény szerint fel- és leszerelhető, és a beépített területeken biztosítja a nagyobb védelmet a páncéltörő fegyverekkel szemben. Ilyen területeken – a terep adottságai és a feladat intenzitása miatt – a harckocsi veszít a manőverező képességéből. Ekkor a harckocsi gyakran kénytelen huzamosabb időn keresztül egyhelyben maradni, amikor is könnyű célpontot jelenthet a külvárosok átláthatatlan épületei között megbújó, jó helyismerettel rendelkező, páncéltörő fegyverrel felszerelt reguláris és irreguláris ellenség számára. A harckocsi kialakítása követi a Leopard családnál bevált, hagyományos kialakítást. A kezelőszemélyzet 4 fő: harckocsiparancsnok, irányzó, töltőkezelő és a harckocsivezető. A páncéltestben elől, a hagyományos középső pozíció helyett jobb oldalon foglal helyet a harckocsivezető, mivel a páncéltest bal oldalán egy kiegészítő lőszeretárolót alakítottak ki. A toronyban három fő számára található munkahely. A torony jobb oldalán, egymás előtt foglal helyet az irányzó (elől), mögötte (felette) pedig a parancsnok. A torony bal oldalán a töltőkezelő munkahelye található. A harckocsi páncélvédeltségének mértékére lehet következtetni a harckocsi tömegéből is. Az alapváltozat is 67,5 tonna, de a kiegészítő páncélzattal, IED⁴ elleni védelemmel felszerelt Leopard 2A7HU harckocsi tömege megközelíti a 73 tonnát. Az orosz–ukrán háború tapasztalatai rávilágítottak a harckocsik sebezhetőségére a modern páncéltörő fegyverekkel szemben, ezért minden gyártó aktív védelmi berendezésekkel (APS – Active Protection System) [4] kívánja növelni a harckocsik túlélőképességét. Erre irányuló



5. ábra. A Leopard 2A7V harckocsi felszerelt Trophy APS védelmi rendszerrel, 2021-ben [21]

fejlesztéssel a Leopard család gyártója, a KMW is rendelkezik, de aktív védelmi rendszerként még nem a saját fejlesztést, hanem az izraeli Rafael Advanced Defense Systems által fejlesztett, a Merkava harckocsikon már bizonyított, Trophy APS-t szerelik fel [5]. Ennek érdekében a német Krauss-Maffei Wegmann (KMW), az izraeli Rafael Advanced Defense Systems, és az amerikai General Dynamics European Land Systems (GDELS) közös németországi vállalatot hozott létre az Euro Trophy fejlesztésére és értékesítésére. Így a német hadsereg, a Bundeswehr lesz az első Európában, ahol a Trophy rendszerrel felszerelt harckocsik és egyéb harcjárművek megjelennek. [7]

A harckocsi hossza 10,97 m (előrefordított harckocsiágyúval), a páncéltest hossza 7,7 m, a harckocsi szélessége (kiegészítő páncél nélkül) 3,76 m, magassága 3,03 m.

A Leopard 2A7HU harckocsi *tüzerejéről* egy L55A1 típusú, L55 űrméretű, 120 mm-es Rheinmetall harckocsiágyú gondoskodik. A továbbfejlesztett L55A1 harckocsiágyú akár már 5000 m távolságon is biztosítja az ellenséges célok hatékony leküzdését. A harckocsi rendelkezik továbbá egy 7,62 mm-es párhuzamosított géppuskával, egy 12,7 mm-es RCWS⁵ távvezérelt géppuskával, valamint 16 db 76 mm-es ködgránátvetővel, amelyek repeszgránátok kilövésére is alkalmasak. A harckocsi előkészítés



6. ábra. A Rheinmetall DM11 repeszgránát [22]

nélkül képes 1,2 m mélységű vízi átkelésre; előkészítéssel 2,25 m mély gázlón, valamint 4 m mélységű víz alatt képes átkelni. A harckocsi ágyújához két különböző éles, valamint két különböző típusú lőtéri gránátot szerzett be a Magyar Honvédség. 2022 márciusában jelentették be, hogy Magyarország szerződést kötött a német Rheinmetall céggel nagy mennyiségű lőszer beszerzésére. A gyártásba a Rheinmetall Waffe Munition GmbH és a magyar kormány által létrehozott, tüzérségi lövedékeket gyártó várpalotai üzem is bekapcsolódik. A hosszú távú szerződés értelmében 2023–2035-ig biztosított a lőszer beszerzése. A bejelentéskor – 2022. március 29-én –, Maróth Gáspár védelmi fejlesztésekért felelős kormánybiztos hangsúlyozta: „A beszerzési program lehetővé teszi, hogy a honvédség és a kibontakozó hazai védelmi ipar együttes erővel, hite-

1. táblázat. A posztermellékletünkön is látható Leopard 2A7 és az A7+ harckocsi főbb paramétereit (A szerző szerkesztése a [2] alapján)

Fegyverzet	Páncélat
120 mm-es / L55A1 sima csövű harckocsiágyú 12,7 mm-es RCWS géppuska, 76 mm-es ködgránátvető, 7,62 mm-es párhuzamosított géppuska.	IED és akna elleni megerősített páncélat, 360°-os kiegészítő páncélat a páncéltörő fegyverek ellen.
Rendszeresítő országok	Tömeg
Németország, Katar, Magyarország	73 000 kg
Fejlesztő ország	Sebesség
Németország	72 km/h
Felszerelés	Hatótávolság
Számítógépes tűzvezető rendszer, közel 360°-os közeli felderítő rendszer, fejlett hőképpalkotó rendszer a parancsnok és az irányzó részére, külön lézeres távmérő az irányzó és a parancsnok részére, fejlett kamerarendszer a harckocsivezető részére, légkondicionáló berendezés, teljes ABV-védelem.	450 km
Személyzet	Méret
4 fő	Hosszúság: 10,97 m; magasság: 3,03 m; szélesség: 4,00 m.



lesen szavatolhassa Magyarország és a magyar emberek biztonságát és békéjét. Hosszú távon biztosítja a jövőben a Magyar Honvédség rendszerébe kerülő korszerű harcjárművek fegyverzetének ellátását. Ugyanakkor szem előtt tartja a védelmi iparfejlesztés, a hazai hadianyaggyártás újjáélesztésének szempontjait is.” [8] A szerződés, a harckocsilőszeréken túl, tartalmazza a rendszeresítésre kerülő Lynx harcjárművek fő fegyverének 30 mm űrméretű lőszer-típusait, a Panzerhaubitze 2000HU önjáró löveg 155 mm űrméretű gránáttípusait, a 40 mm-es „Rosy” és a 76 mm-es „Maske” ködgránátvető tölteteket, valamint 12,7 mm és 7,62 mm űrméretű lőszerket is. A Leopard 2A7HU harckocsi éles gránátjai közül – a Rheinmetall weblapján elérhető információk alapján –, a repeszgránátok közül a Rheinmetall 120 x 570 HE Temp DM11 programozható repeszgránát érhető el. (6. ábra) Ezt a gránáttípust jelenleg a Magyar Honvédségen kívül csak a Bundeswehr állományában megtalálható a Leopard 2A6/A7V típusokhoz, valamint a U.S. Army állományában az M1A2-es harckocsitípusokhoz rendszeresítették. [9]

Az űrméret alatti (APFSDS)⁸ gránáttípusok közül – ugyan-csak a Rheinmetall weboldalán elérhető információk alapján – a DM63-as, vagy az új az L55A1-es harckocsiágyú képességeit kihasználó, jobb képességű DM73-as típusú űrméret alatti gránát alkalmas a Magyar Honvédség igényeinek kielégítésére. Mivel a magasabb töltényűri nyomásra fejlesztett L55A1-es harckocsiágyú a német, a dán és a magyar haderőben teljesít majd szolgálatot, valószínűsíthető, hogy az ahhoz kifejlesztett nagyobb teljesítményű gránáttípus a jobb választás. [10] A kiképzést szolgáló, úgynevezett lőtéri gránátok közül a DM98-as repeszgránát, valamint a DM88-as űrméret alatti gránát fogja a harckocsizó katonák kiképzését támogatni. Ezt a két lőtéri gránáttípust már jelenleg is használják a Leopard 2A4HU harckocsikkal végrehajtott lögyakorlatok során. A harckocsigránátok célba juttatását, valamint a figyelést és az irányzást a harckocsi rendkívül kifinomult optikai rendszere biztosítja. A harckocsivezető munkahelyét SPECTUS II⁷ rendszerrel szerelték fel. Ez a multispektrális készülék a KMW és a Hansoldt Optronics GmbH által közösen fejlesztett rendszer. Ezt az úgynevezett Low Light Level TV (alacsony fény-szintű televíziós kamera) sCMOS⁸ kamerákkal és hűtést nem igénylő rendszert hőképalkotóval látták el, az eszközzel rögzített kép a harckocsivezető munkahelyén, monitorokon jelenik meg. A rendszer biztosítja a harckocsivezető számára, hogy bármely időjárási körülmények között, bármely napszakban, a harckocsiparancsnok irányítása nélkül is képes legyen biztonságosan manőverezni a harckocsival. [11] Az irányzó főirányzó távcsöve az EMES 15A2 típusú eszköz, amelyet az ATTICA típusú, 3. generációs hőképalkotó rendszerrel, és egy lézeres távolságmérővel együtt szereltek fel. A parancsnok figyelőműszere a továbbfejlesztett PERI R17A3 parancsnoki figyelőműszer, amely saját hőképalkotóval és lézeres távolságmérővel rendelkezik. A parancsnok figyelőműszere kamerákkal biztosítja a 360°-os megfigyelést a harckocsi körül. A harckocsit felszerelték egy hazai fejlesztésű BMS-sel is.⁹ Ezek a felszerelések biztosítják az igazi „Hunter Killer”¹⁰ képességet a Leopard 2A7HU számára.

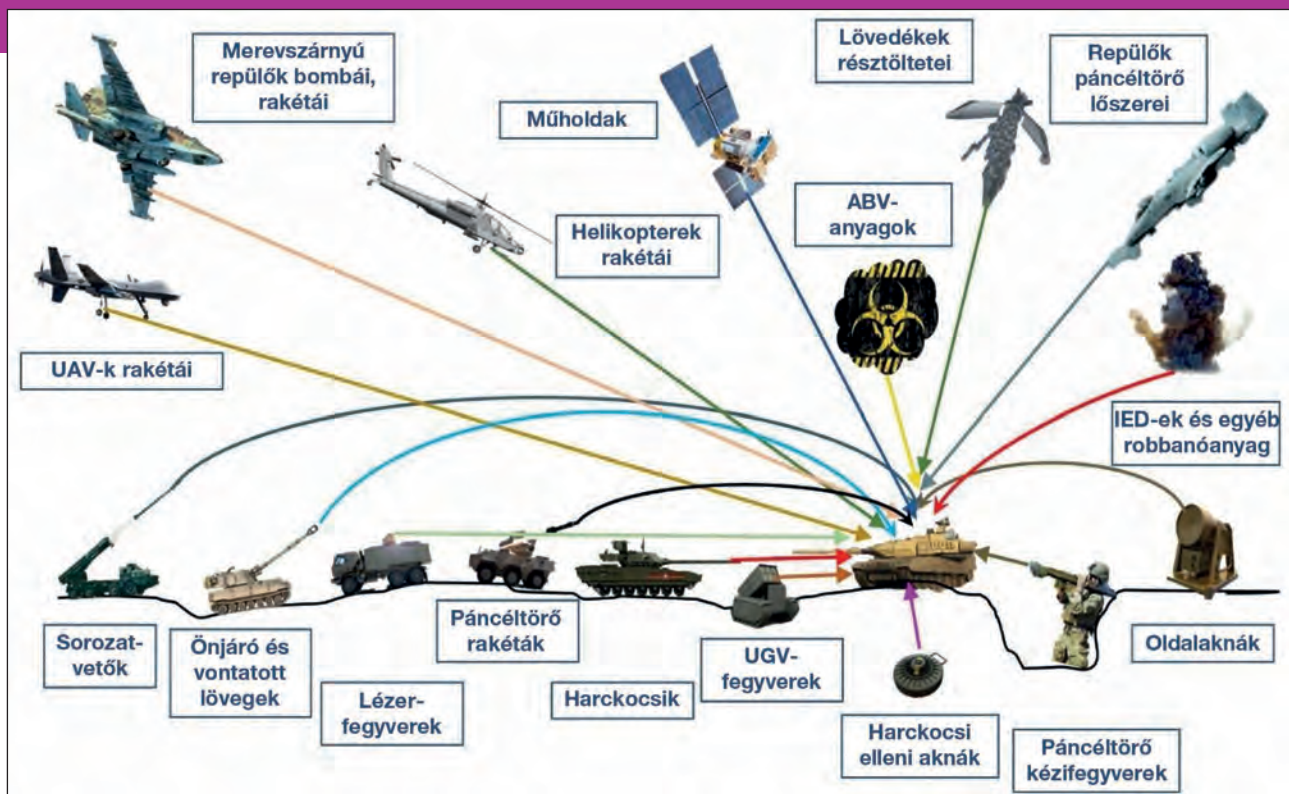
A Leopard 2A7HU harckocsi *manőverező képességéről* az MTU¹¹ MB-873 Ka-501 dízelmotorja gondoskodik. A motort a váltóval egybeépítették, az ún. „power pack”, megoldás a harckocsi üzemeltetési és javítási koncepciója szempontjából különösen kedvező. Ezzel a megoldással a harckocsi meghibásodása esetén komplett egységeket cserélnek ki, hogy a harckocsi minél előbb újra hadra fogható állapotba kerüljön. Az egységek javítását csak a blokkcserét követően hajtják végre. Az MTU MB-873

egy 1100 kW-os (1500 LE) teljesítménnyel rendelkező, 12 hengeres, dízelmotor. Az erőforrás a 70 tonna feletti tömegű harckocsit is könnyedén mozgatja, a harckocsi 70 km/h feletti végsebességre képes, a hatótávolsága 450 km. A harckocsi rendkívül dinamikus gyorsításokra képes, nagy teljesítményű, nagy nyomatékú motorja és automata váltója biztosítja az eszköz számára, hogy néhány másodperc alatt elérje a 30 km/h-s sebességet, akár előre-, akár hátramenetben. A harckocsit egy kiegészítő áramforrással (Additional Power Unit) is felszerelték, amely biztosítja az elektromos rendszerek (pl. az aktív védelmi rendszer) álló helyzetben történő energiaellátását. [12]

A HARCKOCSIK SZEREPE A 21. SZÁZAD HARCMEZŐIN

A harckocsit, mint haditechnikai eszközt az I. világháború harcászati elvárásai hívták életre. Az angolok, Somme mellett 1916. szeptember 15-én vetették be először. A hazai fegyvernem születése 1920-ban történt, de a trianoni békediktátum 15 évre megszüntette a frissen létrehozott fegyvernemet. Az első magyarországi megjelenésre csak 1935-ben került sor, a CV-33 Fiat Ansaldo harckocsik érkezésével. A harckocsik és a harckocsicsapatok létjogosultsága a fegyvernem születése óta folyamatos vitát generál. A harckocsizó fegyvernem megszüntetésének első ötlete 1919-ben merült fel, de a II. világháború és a harckocsik újszerű alkalmazása radikálisan megváltoztatta a harckocsik harcmezőn betöltött szerepét és jelentőségét. A hidegháború technikai fejlesztései miatt a harckocsicsapatok szerepe újra átértékelődött. Az éjjellátó képesség megjelenése, a páncéltörő fegyverek gyors fejlődése új lehetőségeket és új kihívásokat teremtett a harckocsik alkalmazásához. Az arab–izraeli háborúkban a harckocsik újra komoly szerepet kaptak. A 4. arab–izraeli háborúban, (Jom Kippuri háború) 1973-ban a harckocsicsapatok számos esetben tömegesen csaptak össze. A légi erő eredményes támogató tevékenysége, és a páncéltörő fegyverek széles körű elterjedése miatt azonban hatalmas veszteségeket szenvedtek. Izrael 840, a támadó Egyiptom és Szíria összesen 2590 db harckocsit veszített. A fenti tapasztalatok alapján bebizonyosodott, hogy a mennyiségi szemlélet helyett a minőségre kell helyezni a hangsúlyt. A minőség kifejezés a technikai eszköz minőségi fölényén túl, a kiképzés minőségét és az alkalmazási elvek helyes megválasztását is jelöli. A háborúban a páncélelhárítás szerepe is felértékelődött. A rövid háború alatt a 840 db-os izraeli harckocsiveszteség, a teljes harckocsiállomány 42%-át jelentette. Ennek a tetemes veszteségnek mintegy 70%-át (kb. 600 db harckocsit), az ellenséges páncéltörő rakéták semmisítették meg. [13] Ezért egyes szakértők, a háború után ismét arra a következtetésre jutottak, hogy a szárazföldi műveletekben a modern páncéltörő fegyverekkel felszerelt lövészsorozatokkal és légi eszközökkel szemben a harckocsik, és azok szerepe, jelentősége csökkent. Az összegzett tapasztalatok bizonyították, hogy a harckocsi- és páncélos csapatok esetében a minőségi fölény kialakítása a döntő tényező. [14]

A hidegháború végén ismét megváltozott a harckocsik létjogosultságáról alkotott elképzelés. Az 1990-es évek öbölháborúiban ismét főszerepet kaptak a páncélosok, de abban az időszakban még a hidegháború fegyverei csaptak össze egymással, és az Egyesült Államok technológiai dominanciája lehengerlő volt. Azután az afganisztáni NATO-műveletekben ismét új, különleges szerepet kaptak a páncélos csapatok. A 2020-as hegyi-karabahi háborúban a technológiai fölényben lévő örmény haderő és a



7. ábra. A harckocsikat fenyegető veszélyek összefoglalása (Szerkesztette: Ocskay István a [15] alapján)

török Bayraktar TB2 UCAV¹² komoly veszteségeket okozott a technológiailag elmaradott azeri páncélosok körében. A 2022. február 24-én megkezdett orosz-ukrán háború pedig ismét előtérbe helyezte a harckocsicsapatok szerepét a modern hadszíntereken. A hatalmas páncélosvesztések miatt sokan, sokféle közvetítettést voltak le erről a háborúról, és a páncélosok háborúban betöltött szerepéről. Számos esetben komplex összetevők egyes tényezőit kiemelve, azok szerepét túlértékelve voltak le következtetéseket. A Magyar Honvédség is létrehozott egy külön munkacsoportot a háború tapasztalatainak feldolgozására. Az összegzett jelentés megfelelő alapot szolgáltat a Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program további irányaihoz, illetve a páncéloscsapatok további fejlesztéseihez is. A harckocsi és a harckocsizó fegyvernem létjogosultsága nem szűnt meg, sőt kifejezetten felértékelődött az elmúlt években. A nagy fegyvergyártók sorra mutatják be az újabb, modernebb harckocsitípusokat, miközben a fejlett országok, a biztonsági környezet változásával nagy volumenű harckocsibeszerzéseket hajtanak végre. A modern harckocsiknak, a professzionálisan kiképzett és alkalmazott harckocsi-alegységeknek komoly szerepe van a szárazföldi műveletek sikeres megvívásában. A modern harckocsik, és azok további fejlesztései nagyon drága fegyverré tették ezeket az eszközöket. A harckocsik értéke, harcászati és hadművelleti szerepe jelentős, ezért az ellenség törekszik ezek minél előbbi megsemmisítésére. A 7. ábra jól szemlélteti a harckocsikra támadó fegyverek széles körét.

ÖSSZEGZÉS

A Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program végrehajtásával a Magyar Honvédség olyan történelmi lehetőséget kapott, amelyre minden magyar katona régóta várt. Ezekkel a fejlesztésekkel a magyar katonák kezelésébe olyan modern és hatékony fegyverrendszerek kerülnek, amelyek alkalmazásba vételével kivívhatják az őket megillető tiszteletet. Azonban a világ legmodernebb fegyverrend-

szere sem ér sokat professzionálisan kiképzett és összekovácscolt állomány nélkül, valamint a kor kihívásaira és technikai lehetőségeire építő, előremutató alkalmazási elvek nélkül. A Leopard 2A7HU harckocsi jelenleg a világ egyik legmodernebb harckocsija, de nem szabad ezt a harckocsit önmagában vizsgálni, a teljes rendszert kell tekinteni, amelyben ugyanolyan fontos szerepet játszanak a gyalogsági harcjárművek, a tüzérségi eszközök, a páncéltörő fegyverek, vagy a merev- és forgószárnyas repülőeszközök is. Ezeknek kezelési és üzemeltetési filozófiája, a kiképzés rendszerének átalakítása, a kezelőállomány kiválasztásának és felkészítésének módszerei, valamint a szükséges alkalmazási elvek kidolgozása még számos kihívást tartogat. Ezekre a kihívásokra lehetőségként tekintve, egy modern valós képességekkel rendelkező szárazföldi haderőnem alakítható ki. A kritikusok szerint a Leopard 2 harckocsiknak nincs valós műveleti tapasztalatuk, és valóban tény, hogy a török Leopard 2A4-es harckocsiknál modernebb változatok még nem vettek részt éles műveletekben. Nincs arra vonatkozó információ, hogy valós körülmények között a kiegészítő védelemmel felszerelt Leopard 2A7HU harckocsik páncélzata hogyan viselkedne a modern páncéltörő fegyverek ellen, vagy a rögtönzött robbanószerkezetek robbanási hatásaival szemben. Ezek a hatások ugyanis jelentős befolyással bírnak a harcjármű alkalmazását illetően. [16] Azonban ez az állítás szinte az összes modern harckocsi esetében fennáll.

A harckocsik nem veszítették el kivívott szerepüket a harcmezőn. A 21. század konfliktusainak összegzett tapasztalatai alapján megállapítható, hogy bár a többi fegyvernem lehetőségei a harckocsicsapatok ellen lényegesen bővültek, és nőtt a fenyegetettségük, ennek ellenére azonban a harckocsit továbbra is a döntő harcászati tényezők közé kell sorolni. Az irányítható páncéltörő rakéták és a modern páncéltörő fegyverek alapvetően nem befolyásolják a különböző fegyvernemek és technikai eszközök szerepét. Ezek a tényezők azonban hangsúlyosabbá teszik a harckocsi technikai fejlettségét, annak eljárásrendjét, valamint az alegységek kiképzésének színvonalát.



HIVATKOZOTT IRODALOM

- [1] Tankograd – Militärfahrzeug Social N 5058: Kampfpanzer LEOPARD 2A7 (2015);
- [2] Top 10 Main Battle Tanks http://www.military-today.com/tanks/top_10_main_battle_tanks.htm (Letöltve: 2022. 8.9);
- [3] Eurosatory 2010 Exhibition Preview, https://defense-update.com/20100326_eurosatory_2010.html (Letöltve: 2022. 8.9);
- [4] Germany orders Israel's Trophy active protection system for its Leopard 2 tanks, <https://www.defensenews.com/global/europe/2021/02/23/germany-orders-israels-trophy-active-protection-system-for-its-leopard-2-tanks/> (Letöltve: 2022.8.22);
- [5] Végvári Zsolt. „A harckocsik védelmének fejlődése a páncélelhárítás fejlődésének tükrében és az aktív védelmi rendszerek (APS) megjelenése II. rész” *Haditechnika* 52. évf. 4. szám (2018) 35–38. <https://doi.org/10.23713/HT.52.4.07>;
- [6] Daruka Norbert, Az IED, mint a terrorizmus leghatékonyabb eszköze; „fúrás-robbantástechnika 2010”, 10. Nemzetközi Konferencia Balatonkenese 2010., pp.162169.;
- [7] KMW, Rafael, and GDELS to establish joint company for Trophy APS, <https://www.janes.com/defence-news/news-detail/kmw-rafael-and-gdels-to-establish-joint-company-for-trophy-aps> (Letöltve: 2022.8.22);
- [8] Nagy mennyiségű lőszert vásárol Magyarország a Rheinmetall cégcsoporttól, <https://www.portfolio.hu/global/20220329/nagy-mennyisegu-loszert-vasarol-magyarorszag-a-rheinmetall-cegcsoporttol-536303> (Letöltve: 2022.8.30.);
- [9] Rheinmetall 120 mm DM 11 and RH31 tank ammunition: enhanced firepower for modern combat operations https://www.rheinmetall-defence.com/media/editor_media/rm_defence_publicrelations/pressemitteilungen/2015/idx_press_kit/2015-02-22_Rheinmetall_IDEX_DM11.pdf (Letöltve: 2022.8.22);
- [10] EDR on-line, New 120 mm gun and ammunition; a 20% performance increase in the coming years, New 120 mm gun and ammunition; a 20% performance increase in the coming years - EDR Magazine (Letöltve: 2022.8.30.);
- [11] Leopard 2A7V MBT, Leopard 2A7V <https://www.joint-forces.com/features/51591-leopard-2a7v-main-battle-tank-part-2> Main Battle Tank ~ Part 2 | Joint Forces News (joint-forces.com) (Letöltve: 2022.8.30.);
- [12] Végvári Zsolt. „A korszerű harcjárművek áramellátásának sajátosságai II. rész” *Haditechnika* 56. évf. 3. szám (2022) 21–25. <https://doi.org/10.23713/HT.56.3.04>;
- [13] Dr. Horváth J. Csaba, Az arab–izraeli háborúk tapasztalatai a haderőnemek és fegyvernemek alkalmazásának tükrében, https://www.uni-nke.hu/document/uni-nke-hu/arab_izraeli_haboruk.pdf (Letöltve: 2022.8.30);
- [14] Arthur B. Loeffstedt, Yom kippur 1973: An operational analysis of the Sinai campaign, <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA307417.pdf> (Letöltve: 2022. 9.1.).
- [15] Ocskay István, A harckocsifegyverzettel rendelkező lánctalpas harcjárművek megjelenése a világ hadseregeiben és ezek lehetséges logisztikai illeszthetőségi problémái az mh jelenlegi rendszerébe, *Katonai Logisztika* 2020. évi 1–2. szám, http://real-j.mtak.hu/17186/1/katonai_logisztika_2020_1-2.pdf (Letöltve: 2022.9.1.);
- [16] Dr. Daruka Norbert. „A jövő háborúi az improvizált robbanószerkezetek alkalmazásának tekintetében” *Sereg Szemle* XVI. évfolyam, 2. szám (2018. április–június) 07–22.;
- [17] Kurcz Kristóf, Dr. Vég Róbert, Dr. Hegedűs Ernő. „A Leopard 2 harckocsicsalád és a Magyar Honvédség 2A4 és 2A7+ típusváltozatai I. rész” *Haditechnika*, 54. évfolyam 5. szám (2020) 2–7. <https://doi.org/10.23713/HT.54.5.01>;
- [18] Kurcz Kristóf, Dr. Vég Róbert, Dr. Hegedűs Ernő. „A Leopard 2 harckocsicsalád és a Magyar Honvédség 2A4 és 2A7+ típusváltozatai II. rész” *Haditechnika*, 54. évfolyam 6. szám (2020) 19–21. <https://doi.org/10.23713/HT.54.6.04>;
- [19] Forrás: <https://www.defensenews.com/resizer/Mo9ltc5g64xkbYn1jclCSBEj--Y=/arc-photo-archetype/arc3-prod/public/KHQFBNAMP5C33F4JEVN2VHU6EA.jpg> (Letöltve: 2022.9.5.);
- [20] Forrás: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Leopard_2_A7_\(6713926623\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Leopard_2_A7_(6713926623).jpg) (Letöltve: 2022.7.5.);
- [21] Forrás: <https://www.janes.com/defence-news/news-detail/kmw-rafael-and-gdels-to-establish-joint-company-for-trophy-aps> (Letöltve: 2022.7.5.);
- [22] Forrás: <https://www.spartanat.com/2017/07/dm11-frische-munition-fuer-den-leopard/> (Letöltve: 2022.7.5).

JEGYZETEK

- Nincs elfogadott definíció a harckocsik generációira, de a legelterjedtebb elméletek alapján 1. generáció: 1920–1945; 2. generáció: 1946–1960; 3. generáció: 1961–1980 és 4. generáció: 1981-től napjainkig.
1. generáció: 1915–1924, 2. generáció: 1925–1938, 3. generáció: 1939–1952, 4. generáció: 1953–1964, 5. generáció: 1965–1981, 6. generáció: 1982–2014, 7. generáció: 2015-től.
- Az alapvető hármass elv (Iron Triangle) megalkotását Mihail Nyikolajevics Tuhacsevszkij, Charles de Gaulle és Heinz Guderian nevéhez is kötik.
- IED – Improvised Explosive Device: improvizált robbanószerkezet. Bővebben lásd: Daruka Norbert – Az IED, mint a terrorizmus leghatékonyabb eszköze. [6]
- RCWS – Remote Controlled Weapon Station.
- APFSDS – Armour Piercing Fin-Stabilised Discarding Sabot – magyar katonai terminológia szerinti definíció: űrméret alatti gránát.
- SPECTUS II – Spectral Technology for Unlimited Sight II.
- sCMOS (scientific Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) áttörést jelentő technológia, amely a következő generációs CMOS képérzékelő tervezési és gyártási technikáin alapul. Az sCMOS alkalmazása széles körben elterjedt tudományos minőségű technológia, amely képes felülmúlni a legtöbb tudományos képalkotó eszközt.
- BMS – Battle Management System (csapatirányítási rendszer).
- A Hunter killer Capability, az a képesség, amikor egy harckocsi kettős független irányzékkal és támogató tűzvezérlő hardverrel/ szoftverrel van felszerelve, amely lehetővé teszi a lövész és a parancsnok számára, hogy egyidejűleg két különálló célpontot vegyenek célba. Bár a lövegtorony nem tud egyszerre két irányba mutatni, de ez a képesség lehetővé teszi, hogy a harckocsi egy második célpontra is az összes tűzvezetési számítást elvégezze.
- qMTU – Motoren-und Turbinen-Union Friedrichshafen GMBH.
- UCAV Unmanned Combat Aerial Vehicle – személyzet nélküli, harci légi jármű.



1. ábra. A Rheinmetall vállalat új fejlesztésű harckocsija a KF51 Panther 2022 nyarán mutatkozott be a Párizsban megrendezett Eurosatory kiállításon (A szerző felvétele)

Ocskay István*

A Párduc harckocsi újjászületése: a Panther KF51

Az orosz Armata platformra épített T-14-es alapharckocsi 2015 májusi bemutatkozása óta a szakma türelmetlenül várta az orosz harceszközre adott méltó nyugati választ, azt a harckocsit, amely hasonló generációs ugrást képvisel, hiszen az orosz harckocsi vált az első hetedik generációs¹ harckocsivá a világon. Igaz, az Armata T-14 alapharckocsiról teljesen megbízható technikai leírások, adatok csak nagyon korlátozott számban jelentek meg [1] [2], rendszeresítése még nem történt meg az orosz szárazföldi erők arzenáljában, azonban tesztelési szempontok miatt már a szíriai harcokban bevetették az eszközöket. [3]

Mindezek ellenére a nyugati tervezők – elemezve az elérhető nyílt és minősített felderítői forrásokat – arra a megál-

apításra jutottak, hogy a harckocsi már a jelenlegi állapotában is komoly ellenfélnek minősül, és szükséges elkezdeni azokat a fejlesztéseket, amelyek az esetleges orosz konfliktus esetére hatékony válaszlépésnek tekinthetők. Az elemzések arra engedtek következtetni, hogy a meglévő 120 mm-es, sima csövű harckocsiágyú, amely 1974-es debütálása óta már több mint 40 éve a nyugati harckocsik szabványosított harckocsiágyúja³ volt, képességeit tekintve nem lesz alkalmas a legkorszerűbb orosz harckocsi-páncélatok leküzdésére, még a növelt löveghosszúság és az új típusú löszerek esetében sem.

Nem sokkal a problémafelvetést követően, már 2016 nyarán, a Rheinmetall vállalat bemutatta a 130 mm-es sima

ÖSSZEFOGLALÁS: Hosszú szünetet követően megépült egy nyugati tervezésű, rendkívül korszerű alapharckocsi, amely jellemzői alapján bekerülhet a legújabb generációs harckocsik szűk csoportjába. 2022 júniusában az Eurosatory kiállításon – válaszként az orosz T-14 Armata alapharckocsira – a Rheinmetall vállalat KF51 Panther néven bemutatta új fejlesztését. A tanulmány ismerteti a harcjármű kialakításához vezető lépéseket, a KF51-es alapharckocsi főbb technikai paramétereit, a jellemző technikai megoldásokat és az újdonságokat.

KULCSSZAVAK: harckocsi, KF51, Panther, harckocsifejlesztés, újgenerációs harckocsi

ABSTRACT: After many years of waiting, it looks as if Western tank designers will have a new, system-capable main battle tank with the characteristics to join the narrow group of armoured vehicles that make up the latest generation of tanks. In June 2022, Rheinmetall's answer to the Russian Armata T-14 tank, the KF51 Panther, was unveiled at Eurosatory exhibition. What can we know about this armoured vehicle, what steps were taken to develop it, what are the main technical parameters, typical technical solutions, and new features of this revolutionary KF51 Panther tank?

KEY WORDS: MBT, new tank development, Panther, KF51

* Mk. ezredes, Haderőmodernizációs és Transzformációs Parancsnokság Modernizációs Igazgatóság, igazgató, NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Katonai Műszaki Doktori Iskola, ORCID: 0000-0003-0279-8215





2. ábra. Az Rh-130 típusú harckocsiágyú a Washington D.C.-ben rendezett AUSA-kiállításon 2019-ben (A szerző felvétele)

csövű Rh-130 típusú, L/51 kaliberhosszúságú harckocsiágyú prototípusát, és a hozzá kifejlesztett űrméret alatti lövedékeket és páncéltörő gránátokat. Az akkor még csak technológia-demonstrátor szintjén lévő fegyverrel csak azt követően kezdődtek meg a tesztlövések a Rheinmetall Unterlüss melletti lőterén. A mérések alapján a 120 mm-es harckocsiágyúnál 300–400 kg-mal nagyobb tömegű ágyú, a relatív kicsi, 8%-os átmérőnövekedés mellett, több mint

3. ábra. A 120 × 570 mm-es és a 130 × 830 mm-es APFSDS-lőszerek méretkülönbségét szemlélteti a 2019-es AUSA kiállításon bemutatott installáció (A szerző felvétele)



50%-os kinetikus energianövekedést ért el a lövedék célban kifejtett hatását tekintve. A léghelyretolóval, folyadékfékkel és bölcsővel, ékzárral együtt szerelt ágyú tömege 3 t, amelyből 1400 kg a 6630 mm hosszú ágyúcső saját tömege.

A nagyobb átmérőjű harckocsiágyú mellé a Rheinmetall kifejlesztette a hatékonyabb lőportöltettel szerelt APFSDS-T⁵ űrméret alatti, leválóköpenyes páncéltörő lövedéket. A lőszer tömege több mint 30 kg, és hossza meghaladja az 1300 mm-t. Már az akkori tesztlövések eredményeiből kiderült, hogy az új harckocsiágyúhoz automata töltőberendezés, és emiatt teljesen más felépítésű torony szükséges. Erre lett volna technikai elképzelése a Rheinmetallnak, mivel már több éve futott a Leopard 2A4 Evolution programja, de annak a tornya csak a 120 mm-es L/44 kaliber hosszúságú harckocsiágyú befogadására volt alkalmas. [4]

Mindközben a Krauss-Maffei Wegmann (KMW), a másik nagy német hadiipari vállalat, egyesülve a francia Nexter vállalattal, létrehozta a KNDS (KMW+Nexter Defence System) csoportot, és a 2018-as Eurosatory kiállításon bemutatta az új European Main Battle Tankot (EMBT), amely a Leopard 2A7 harckocsialváz, és az automata töltőberendezéssel szerelt, kétfős Leclerc torony integrációjából keletkezett. A tervek szerint a Leopard 2A7 tornyánál majdnem 6 tonnával könnyebb Leclerc toronyba, későbbiekben a francia GIAT vállalat 140 mm-es harckocsiágyúját integrálták volna, amelynek növelt teljesítménye elégségesnek bizonyulna az új orosz harckocsik védelmi rendszereinek leküzdésére. A GIAT már 1996-ban kipróbálta – nem túl nagy sikerrel – a 140 mm-es harckocsiágyú integrálását az akkor éppen rendszeresített Leclerc harckocsi toronyba, ez volt a „Le Terminateur”. Akkori tapasztalatok alapján a 140 mm-es harckocsiágyúhoz már csak osztott löszert lehetett volna alkalmazni annak hosszúsága miatt, amely azonban csökkentené az alkalmazható nyílövedék hosszúságát, és jelentős mértékben, 9 darabbal csökkentené a harckocsiba málházható gránátok számát. Akkor ezt az elképzelést elvetették, de a két vállalat egyesülése után megindított Main Ground Combat System (MGCS) programban ismét felmelegítették a nagyobb űrméretű ágyú beépítésének lehetőségét. [5]

A Rheinmetall az 1990-es évek végén saját fejlesztéssel rendelkezett 140 mm-es harckocsiágyúra NPzK-140 néven, amellyel szerették volna leváltani a 120 mm-es L/44 űrméretű harckocsiágyúkat, de a kísérletek azzal zárultak, hogy az L/55 űrméret-hosszúságra megnövelt csőhosszúságú harckocsiágyúk torkolati energiája elégséges lesz az elkövetkező évek konfliktusaiban megjelenő ellenséges harcjárművekkel szemben történő alkalmazásra. [6] Ebben az esetben azt tapasztalták, hogy a modernebb lőszerrel és a nagyobb csőhosszúsággal rendelkező 120 mm-es harckocsiágyúk mintegy 20%-kal jobb eredményt produkáltak, mint az eredeti fejlesztésű fegyverek. [7]

Mindazonáltal a Rheinmetall fejlesztői azt tapasztalták – és megállapításait a tesztlövések is alátámasztották –, hogy a gyakorlatban a 130 és a 140 mm űrméretű lövedékek célban kifejtett hatásai jelentősen nem különböznek egymástól, a 130 mm-es lőszer gyártása azonban sokkal kisebb átalakítással jár, mint az annál 10 mm-el nagyobb átmérőjű lőszerké. Összehasonlítva a 120 mm-es lőszerrel látható, hogy a közelmúltban kifejlesztett 130 mm-es gránátok hüvelyei a 120 mm-es részben eléggé hüvelyekkel szerelt 120 × 570 mm-es NATO STANAG 4385 szabvány szerinti gránátok hüvelyének meghosszabbított változataként értelmezhetők 130 × 830 mm-es méretben,



4. ábra. A KF51 Panther alapharckocsi farpáncélja az eredeti Leopard 2A4 páncéltestéhez képest apróbb módosításokkal, dizájnelemekkel (A szerző felvétele)

amelyet szeretnének a német fejlesztők minél előbb NATO-szabványként elfogadtatni.

Még ha a 140 mm űrméretű harckocsiágyúnak a torkolati energiája mintegy 70%-kal nagyobb is, mint a 120 mm-es harckocsiágyú hasonló értéke, a német fejlesztők tesztjei azt is megmutatták, hogy a 140 mm-es harckocsiágyúval végzett lövések akkora hang- és lökőhatással járnak a csőtorkolat környezetében, hogy városi harcban, vagy olyan összefegyverzeti szituációban, ahol a lövészkatonákkal együtt kell végrehajtani harctevékenységet, a harckocsi környezetében tartózkodó katonák súlyos hallás- és vibrációs sérüléseket szenvedhetnek, míg a 10 mm-el kisebb űrméret esetében ezek a hatások csak nagyobb mennyiségű lőszer alkalmazása esetén jelentkeznek. [8]

5. ábra. A KF51 Panther alapharckocsi szemből (A szerző felvétele)



A RHEINMETALL KF51 PANTHER ALAPHARCKOCSI

Ilyen előzményekkel kezdődött meg a Rheinmetall vállalatnál a KF51 Panther harckocsi fejlesztése, amelyet gyakorlatilag a meglévő, de még fejlesztés alatt álló, 130 mm űrméretű harckocsiágyú hordozására fejlesztettek ki. Követelménynek tekintették, hogy a jól bevált harckocsi-páncéltestet használják a továbbiakban is, amelyet több mint 18 ország hadseregében már rendszeresítettek. A tervezők semmi esetre sem szerették volna, hogy a jármű tömege meghaladja a 60 tonnát. A harckocsi típusnevében a KF rövidítés a „Kettenfahrzeug”, azaz a lánctalpas jármű német megnevezés rövidítéséből származik, míg az 51-es szám az adott jármű (tervezett) katonai tömegbesorolását (Military Load Classification – MLC) hivatott jelölni, amelytől azonban, a fejlesztés végére „néhány tonnával” eltértek a fejlesztők. Érdekes, hogy korábban ezt a jelölésrendszert KF31 és KF41-ként a Lynx páncélozott gyalogsági harcjárműveknél alkalmazták, amely első olvasatra azt sugallja, hogy a Panther alapharckocsinak Lynx harcjármű hordozóváza lenne, pedig nem az.

Hasonlóan érdekes a Párduc elnevezés visszahozása a harckocsinevek világába, mert bár a német harcjárművek tradicionálisan valamilyen állat-, azon belül is macskafajták nevét viselik (mint Leopard, Tiger, Lynx stb.) de ezekből a Tigris és a Párduc, amúgy méltán híres harckocsinevek használatát – történelmi okokból – több évtizeden át kerültk. A mostani KF51-es alapharckocsinak először a Lion (oroszlán) nevet tervezték adni, de a vállalat vezetője ezt nem fogadta el, mert bár az oroszok az állatok királyaként híresült el, és a neve jól illeszkedhetett volna a legújabb generációs harckocsihoz, ám a cégevezető szerint egy lusta állatról van szó, neki pedig egy agilis, gyors, veszélyes macskaféle volt az elképzelése: ez lett a Panther.

AZ ALAPHARCKOCSI KÉPESSÉGEI

A 2022. június 13-án, a párizsi Eurosatory 2022 haditechnikai kiállításon bemutatott KF51 Panther harckocsit a Leopard 2 harckocscsalád hordozóalvázán alakították ki,

annak mindösszesen 10%-os változtatásával. Fontos kiemelni, hogy a harckocsimotor és erőátviteli rendszer (powerpack), valamint felfüggesztése változatlan maradt, hiszen a harckocsi szerkezeti összetéme maximum 60 t lehetett. Így nincs szükség a felfüggesztés megerősítésére, mint a Leopard 2A7 harckocsikra történő átalakítások során. A hordozóalvázon véghezvitt legnagyobb változtatás, hogy eltávolították a harckocsivezető melletti, bal oldalon található lőszertárolót. Ez a módosítás vélhetően a török Leopard harckocsik veszteségeiből adódó tapasztalatokból is eredeztethető, amelyet az orosz–ukrán háború tapasztalatai igazolni látszanak.

Az alapharckocsi hatótávolsága maradt 500 km, személyzete 4 fő. A bal első részen egy plusz munkahelyet alakítottak ki, a következő feladatrendszerrel:

- egy fő specialista, aki lehet a felderítő,
- vagy támadó, öngyilkos drónok kezelője, illetve
- a harckocsi századparancsnoka is lehet.

A harckocsi e nélkül is harcképes, illetve vészhelyzetben akár két fővel is működtethető, mert a torony fő fegyverze az irányzó vagy a parancsnok, de akár a specialista helyéről is kezelhető.

Ezen felül a harckocsitesten jelentős külső változtatások nem tapasztalhatók, természetesen az elmúlt évek, és jellemzően a Lynx páncélozott gyalogsági harcjármű fejlesztésében kicsúcsosodó kamera- és érzékelőrendszerek, valamint a világitási és dizájnelemek is megtalálhatók az eszközön. A harckocsi elektromos rendszerét teljesen a Következő Generációs Jármű Architektúra (Next Generation Vehicle Architecture – NGVA) alapján építették át, ennek a nyílt forráskódú alapokon nyugvó rendszernek köszönhetően, a plug-in rendszerű elektromos berendezések és részegységek integrálása sokkal egyszerűbbé és gyorsabbá tehető.

Szembetűnő változások természetesen a harckocsi új tervezésű tornyán tapasztalhatók. Először is a 130 mm űrméretű, újragondolt tervezésű harckocsiágyú kaliberhosszúsága, a korábbi tesztelek eredményeként L/52-re növekedett, ezzel elérte a 6760 mm-es csőhosszúságot, amely 160 mm-rel hosszabb, mint a Magyar Honvédség számára fejlesztett Leopard 2A7HU harckocsi L/55 űrméret-hosszúságú, 120 mm-es harckocsiágyúja. A harckocsiágyú beépítése lehetővé teszi, hogy a fegyvert -9° és $+20^\circ$ közötti szögtartományban lehessen függőleges irányban mozgatni. A töltényűri nyomás 765 MPa értékről több mint 880 MPa-ra növekedett, természetesen a nagyobb lőszernek megfelelően nőtt a töltényűr térfogata is, a korábbi 10,2 literről 15 liter fölé. A megnövekedett nyomás miatt a töltényűr, a cső, de még az alkalmazni kívánt lőszer anyagválasztásánál is kritikusan kellett eljárni, új ötvözeteket, anyagfajtákat alkalmazva. Mindezek figyelembevételével, gyári tájékoztatás alapján az új kialakítású harckocsiágyú 50%-kal nagyobb hatásos lőtávolsággal rendelkezik, mint elődje. [9]

Az eddigi megszokott kézi töltéssel ellentétben, a hatalmas és nehéz lövedékek betöltését már egy automata töltőberendezés segíti. A töltőberendezésnek mindenképpen a toronyban kell elhelyezkednie, elkerülendő a harckocsitestet ért találatok következtében fellépő robbanást, amely a teljes kezelőszemélyzet, valamint a harckocsi elvesztését okozhatja. A toronyban elhelyezett, és 2×10 db lőszer tárolását biztosító töltőautomatát úgy alakították ki, hogy találat esetén, hasonlóan a Leopard 2-es tornyához, a felrobbanó lőszer a torony tetőpáncélján keresztül fejtse ki hatásukat, megóvva a kezelőállományt a sérülésektől. A töltőautomata tárolórekeszei a csőfar két oldalára kerültek, ebből választja ki az adogatóberendezés az igényelt

lőszert, majd tölti be a töltényűrbe. A két tárolórekeszt a torony hátsó részéből lehet újratölteni lőszerrel, félautomata módon.

A tervezők szándéka egy megbízható, de már kész töltőautomata beépítése volt, de a kiszemelt dél-ázsiai partnerrel ezt a technológiát nem tudták átvenni. Ekkor felkérték a légvédelmi rendszerek fejlesztésében élen járó svájci partnercégüket, a Rheinmetall Air Defence-t, hogy fejlesszen ki számukra egy automata töltőberendezést. A nem kis kihívást jelentő teljes programot a svájci vállalat teljesítette, és már 2020-tól megkezdődhetnek az automata töltőberendezéssel ellátott tesztlövészetek Unterlössben. [10] Az elvégzett tesztek során az új ágyú bizonyította megbízhatóságát és precizitását, amelyet az is jelez, hogy a 10 lövésből leadott sorozatból 8 lövedék az 1000 m-en lévő célban, egy 297×420 mm (A3-as papírlap) méretű területen csapódott be. A torony forgatását, valamint a harckocsiágyú emelését-süllyesztését elektromotorok végzik.

A harckocsiágyúval APFSDS-T és programozható HE ABM (Rheinmetall's airburst ammunition) lőszerrel kioldására lesz mód, amely lőszerpaletta az alapharckocsi rendszeresítését követően, természetesen tovább is bővíthet.

A korábbitól eltér a fő fegyverrel párhuzamosított géppuska mérete is, és az eddig alkalmazott $7,62 \times 51$ mm űrméretű lőszert tüzelő Rheinmetall MG3-as géppuska helyébe egy $12,7 \times 99$ mm-es nehéz géppuska került, 250 darabos lőszer-javadalmazással.

A kisebb űrméretű géppuska azonban felkerült a torony hátsó felére illesztett NATTER 7,62⁶ típusú távirányított fegyverállványba, amelyet a harckocsi parancsnoka kezel. Ezzel a távirányított fegyverplatformmal a parancsnok nem csak az ún. killer-killer⁷ képességre tehet szert, hanem a fegyver -15° és $+85^\circ$ közötti elevációjának köszönhetően akár drónok elleni küzdelemre is képes lehet, amelyet a fegyver 2500 darabos lőszerkészlete is támogat. [11]

A torony fegyverrendszerének – amely a Future Gun System (FGS)⁸ nevet kapta –, legérdekesebb részét az a négyes loitering munition⁹ indítóberendezés alkotja, amely szintén a Rheinmetall vállalattól származik, pontosabban annak, és az izraeli Uvision vállalatnak közös terméke, HERO-120 néven. A drónindító rendszert a toronyba, a bal oldali lőszertároló rekesz helyére építették be. A HERO-120 kamikaze drón 60 percig képes a levegőben tartózkodni, közben a harckocsit felderítési információkkal ellátni, ezen felül a 4,5 kg-os kumulatív töltetű harczi részével, felülről támadni az ellenséges harcjárműveket. Az elektromos energiával működő drónnal akár többször is megszakítható a küldetés, és új célok adhatók az eszköz számára, sőt

6. ábra. A harckocsitorony hátsó részére szerelt NATTER 7,62 távirányított fegyverplatform. Előtte jól látszik a töltőautomata bal oldali feltöltőnyílásának fedele (A szerző felvétele)





7. ábra. A bal oldali lőszertárolóba integrált HERO-120 négyes indítókonténer, előtte a ROSY kódgránátvetők vetőcsövei (A szerző felvétele)

8. ábra. Bepillantás a harckocsiparancsnok a) és az irányzó b) munkahelyére (A szerző felvétele)



végsszükség esetén, dolgavégezetlenül, ejtőernyővel az indítási terület közelében le is tud ereszkedni. Ezekkel a drónokkal megvalósulhat a lőtávolságon túli célok támadási képessége is. [12]

Természetesen ezek a képességek nem lehetnének kiaknázhatók, ha az irányzó és a parancsnok nem rendelkezne korszerű felderítő és tűzvezető rendszerekkel, és ezek integritását, együttműködését lehetővé tevő rendszerekkel. Hasonlóan a harckocsi alvázához, a toronyban is az NGVA architektúrán alapuló szemlélet tükröződik, amely lehetővé teszi a tornyon elhelyezett különféle szenzorok, éjszakai és nappali kamerák, megfigyelőrendszerek képeinek kezelését, egymással történő megosztását, és ebbe a rendszerbe a fegyverek kezelése is beletartozik. Mindez még érdekesebbé válik, ha figyelembe vesszük, hogy a fegyverek kezelésére ezáltal a harckocsivezető mellett helyet foglaló specialista is képessé tehető! Ebből az is következik, hogy a specialista és a harckocsi vezetője együttesen alkalmas lehet a KF51 Panther kezelésére, így egy távirányított toronyt, fegyverplatformot hozva létre. Innen már csak egy lépés a teljesen távirányított harckocsi kifejlesztése és alkalmazása.

A személyzet tűzvezetéséhez két rendszer áll rendelkezésre, a már jól bevált EMES irányzótvécső, de annak – meg nem nevezett mélységű – modernizációjával, illetve a Lynx-en alkalmazott SEOSS-2¹⁰ parancsnoki figyelő- és irányzórendszer. Mindkét rendszer, egymástól függetlenül képes éjjel és nappal, stabilizált képet biztosítani a harctérről, lézeres távolságmérővel távolságot mérni és tüzet vezetni. A két eszköz képe variálható, egymást kiegészíthetik, és egymástól külön is működőképesek maradnak.

A harckocsiparancsnok segítségével szolgál a Hensoldt vállalat SETAS (See Through Armour System – ún. Nézz át a páncélon rendszer) berendezés, amely az alapharckocsin található számtalan érzékelőrendszer képeit egyesítve egy virtuális szemüvegben jelenik meg, és képes azt a látszatot kelteni, mintha a harckocsitoronyban állva, a páncélzat nélkül tudna a parancsnok körbe nézni.

Ezenkívül a kezelők hadszíntéri tudatosságát segítik az alapharckocsira szerelt, és körkörös képet biztosító megfigyelőkamerák és érzékelők sora. Kiegészíthető ez az információ a toronyban elhelyezett Stinger Mini felderítő drónok információival, amelyek kilövését a torony jobb oldalán található pneumatikus vetőszerkezet teszi lehetővé. [13] A minidrónok repülési ideje 50–60 perc, de ez alatt releváns információkkal képesek ellátni a harckocsi pa-

9. ábra. A harckocsiparancsnok búvónyílása, rajta a SETAS-rendszerhez tartozó VR-szemüveg (A szerző felvétele)



rancsnokát, valamint kezelőit. Amennyiben a felderítő-kamerát egy 200 grammos töltetre cserélik le, akkor kamikaze drónként is alkalmazhatók a drónok, mi több, képesek arra is, hogy így töltettel együtt egy adott helyre szálljanak, majd ott megbújva, egy távirányítású kis méretű aknaként funkcionáljanak. [14]

Végül a KF51 Panther alapharcocsi védelmét kell megemlíteni, amely három szinten keresztül képes biztosítani a kezelők átlagon felüli biztonságát. A külső védelmi részt a Rheinmetall APS (Active protection system), aktív védelmi rendszer biztosítja, amely védelmet ad kinetikus energiával támadó fegyverek, jellemzően APFSDS-lőszer, és kumulatív fejjel szerelt lőszer, rakéták ellen, beleértve a páncéltörő rakétákat és rakétagránátokat is. Az előző rendszer továbbfejlesztéseként létrejövő Top Active Protection System (TAPS) biztosítja a felső térfélből támadó rakéták (pl. FGM-148 Javelin), illetve a drónokról alkalmazott ejtőlőszer, vagy kamikaze drónok harci részei elleni védelmet. Amennyiben a támadó fegyvereket tandem kumulatív fejjel szerelték fel, akkor lép működésbe az alapharcocsi második védelmi vonala, a reaktív védelmi elemek rétege. A harmadik réteget a harcocsi „hagyományos” páncélzata adja, amely egyrészt támasztékot, felfüggesztési felületet ad az előző két rétegnek, másrészt a harmadik rétegig eljutott repeszek és lövedékek megállítását hivatott ellátni.

A védelmi rendszer továbbá kiegészül a ROSY¹¹ ködgránátvető rendszer vetőcsőveivel is. A Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program keretében beszerzett Lynx KF41HU páncélozott gyalogsági harcjárművek, valamint a Leopard 2 ARV3HU mentő-vontató harcokcsik is ezzel a típusú ködgránátvető rendszerrel szerelve érkeznek hamarosan a Magyar Honvédséghez.

A KF51 Panther harcokcsik legnagyobb előnye a mostani nyugati alapharcokcsikhoz képest – ideértve az Magyar Honvédség állományába 2023-ban beérkező Leopard 2A7HU alapharcokcsikat is –, hogy átalakítás nélkül beférnek az AMovP-4L¹² vasúti szállítási mérettartományba, azaz anélkül lehet közúton vagy vonaton szállítani, hogy az eszközökön kisebb-nagyobb átalakításokat, alkatrészek leszerelését kellene végrehajtani. [15]

ÖSSZEGRÉS

Az idei Eurosatory kiállításon debütált Panther KF51 alapharcocsi mellett a KNDS vállalat is kiállította a saját elképzelései és fejlesztései alapján összeállított EMBT-harcocsi prototípusát, amely hasonló elvek alapján építkezve, kétfős személyzettel a toronyban, kettővel a harcokcsitestben számol. A harcocsialvázban – eltérően az általános elrendezéstől –, nem a megszokott MTU MB873 Ka-501 típusú harcocsimotor és a RENK HSWL 354 hidrodinamikus nyomatékváltóból álló powerpack, hanem a már korábban kifejlesztett, de elvetett, ún. EuroPowerpack (MTU MT883 Ka-500/501 27,4 literes V12 motor, RENK HSWL-295TM típusú, 10 sebességes nyomatékváltóval szerelve) került beszerelésre, amely mintegy 1 m-es extra nagy helyet biztosít a 140 mm-es fő fegyverzet, és az ahhoz kapcsolódó automata töltőberendezés mielőbbi beépítéséhez. Vélhetően ez a harcocsia gyű a Nexter vállalat új fejlesztésű harcocsia gyűja lesz, amely az ASCALON (Autoloaded and SCALable Outperforming guN – Automata töltésű és skálázható kialakítású ágyú) koncepcióra épül. [16]

Ma még nem ismert, hogy melyik harcocsit választják ki az EMBT-program nyertesként, de az biztos, hogy a Rheinmetall jelentős lépést tett afelé, hogy ezt a lehetőséget a KF51 Panther ragadja meg. [17]



10. ábra. Az EMBT-harcocsi prototípusa a KMW-Nexter standján, a 2022-es párizsi Eurosatory kiállításon (A szerző felvétele)

A KF51-es alapharcocsi kifejlesztése egyben jó hír lehet azoknak az országoknak – köztünk hazánk is –, amelyek a Leopard 2A4-es harcokcsik modernizálását, kiváltását egy nagyobb teljesítményű harcocsira, akár ezen a fejlesztési úton tartják megvalósíthatónak.

Az Eurosatory 2022-es kiállításon látott harcocsiterveken túl, a nyugati harcocsik piacán hamarosan feltűnik egy új szereplő is, az új Abrams alapharcocsi, amelynek bemutatójára a 2022-es AUSA kiállításon kerül(t) sor október 10-én, azonban tanulmányunk írásakor még nem sok részlet áll a rendelkezésre erről a fejlesztésről. [18]

HIVATKOZOTT IRODALOM

- [1] Zentay Péter, Gyarmati József. „Vitézek a Vörös téren – Harcokcsik és harcocsi támogatók II. rész. Korszerű orosz haditechnikai eszközök az elmúlt évek moszkvai győzelem napi díszszemléin” *Haditechnika*, 53. évfolyam, 4. szám (2019) 27–31. <https://doi.org/10.23713/HT.53.4.05>;
- [2] Zentay Péter. „Vitézek a Vörös téren – Harcokcsik és harcocsi támogatók III. rész. Korszerű orosz haditechnikai eszközök az elmúlt évek moszkvai győzelem napi díszszemléin” *Haditechnika*, 53. évfolyam, 5. szám (2019) 26–29. <https://doi.org/10.23713/HT.53.5.06>;
- [3] Russian T-14 Armata tanks tested in Syria, https://tass.com/defense/1146855?utm_source=google.com&utm_medium=organic&utm_campaign=google.com&utm_referrer=google.comhttps://tass.com/defense/1146855?utm_source=google.com&utm_medium=organic&utm_campaign=google.com&utm_referrer=google.com (Letöltve: 2022.6.24);
- [4] FIGHTING-VEHICLES.COM Combat & utility vehicles, Leopard 2 Evolution, <http://fighting-vehicles.com/leopard-2-evolution/>, (Letöltve: 2022. 6.24);
- [5] France Tests Huge 140 mm Tank Gun As It Pushes Ahead With Germany On A New Tank Design, <https://www.thedrive.com/the-war-zone/26170/france-tests-huge-140mm-tank-gun-as-it-pushes-ahead-with-germany-on-a-new-tank-design> (Letöltve: 2022.6.24);
- [6] Army Guide FTMA, <http://www.army-guide.com/product3593.html>, (Letöltve: 2022.6.24);
- [7] Rheinmetall to develop 130 mm gun and upgraded 120 mm gun, <https://below-the-turret-ring.blogspot.com/2016/02/rheinmetall-to-develop-130-mm-gun-and.html> (Letöltve: 2022.6.24);
- [8] Why Europe is looking at a 130-140 mm main gun for its tanks, should India take note? <http://idr.org/why-europe-is-looking-at-a-130-140mm-main-gun-for-its-tanks-should-india-take-note> (Letöltve: 2022.6.24);

- [9] Rheinmetall Unveils 'Game-Changer' Main Battle Tank, <https://www.thedefensepost.com/2022/06/15/rheinmetall-main-battle-tank/> (Letöltve: 2022.6.24);
- [10] The development work 2016-2020, <https://www.edrmagazine.eu/the-development-work-2016-2020>, (letöltve: 2022.6.24);
- [11] NATTER 7.62, https://www.rheinmetall-defence.com/media/en/editor_media/rm_defence/pdfs/produktpdfs/waffenstationen/DB_Natter7.62_land_dt_2.pdf, (Letöltve: 2022.6.24);
- [12] Uvision-HERO-120, <https://uvisionuav.com/portfolio-view/hero-120/> (Letöltve: 2022.6.25);
- [13] Press Release: A new tank for a new era, www.rheinmetall.com/en/rheinmetall_ag/press/news/latest_news/index_32640.php (Letöltve: 2022.6.24);
- [14] Rheinmetall micro-UAVs: a Stinger for the Panther... and not only, <https://www.edrmagazine.eu/rheinmetall-micro-uavs-a-stinger-for-the-panther-and-not-only> (Letöltve: 2022.6.25);
- [15] Panther KF51: this is the latest generation combat tank that will replace the Leopard 2, <https://www.outono.net/elentir/2022/06/13/panther-kf51-this-is-the-latest-generation-combat-tank-that-will-replace-the-leopard-2/> (Letöltve: 2022.6.25);
- [16] Nexter Develops A Scalable Gun for Future Tanks, https://defense-update.com/20210414_ascalon.html (Letöltve: 2022.6.25);
- [17] GlobalSecurity.org. Military „EMBT (Enhanced Main Battle Tank), <https://www.globalsecurity.org/military/world/europe/embt.htm> (Letöltve: 2022. 6.25);
- [18] Next Generation M1 Abrams Tank Teased By General Dynamics, <https://www.thedrive.com/the-war-zone/next-generation-tank-m1-abrams-tank-teased-by-general-dynamics> (Letöltve: 2022.6.25).

JEGYZETEK

- Megítélésem szerint az alábbi harckocsi-generációkat különböztethetjük meg napjainkban: 1. generáció: 1915–1924, 2. generáció: 1925–1938, 3. generáció: 1939–1952, 4. generáció: 1953–1964, 5. generáció: 1965–1981, 6. generáció: 1982–2014, 7. generáció: 2015-től.
- Oroszul: Сухопутные войска (CB).
- Kivéve a Challenger harckocsik Royal Ordnance L30-as gyártmányú 120 mm-es huzagolt harckocsiágyút.
- AUSA – Association of the United States Army – Az Egyesült Államok Hadseregének Egyesülete.
- APFSDS-T – Armor-piercing fin-stabilized discarding sabot-Tracer. A páncéltörő szármystabilizált, leválóköpenyes, fényjelző, úrméret alatti nyíllövedék a roncsoló hatását mozgási energia alapján fejti ki. Alkalmazása a modern ballisztikai védelemmel ellátott járművek ellen hatásos. A magyar katonai terminológiában úrméret alatti gránátnak nevezik. (A szerk.)
- A NATTER egy távirányított fegyverrendszer, amelyet a német Rheinmetall vállalat fejleszt és gyárt. A fegyverrendszer két változatban létezik: az egyik a könnyebb NATTER 7.62-es, a másik a nehezebb NATTER 12.7-es. A 2021-ben bemutatott NATTER számos innovatív megoldást alkalmaz. (A szerk.)
- Killer-killer képességnek nevezik, amikor a harcjármű parancsnoka az irányítótól függetlenül tud tűzfeladatot végrehajtani a harcjármű kiegészítő fegyverzetével, miközben az irányzó a fő fegyverzettel hajt végre feladatot.
- Future Gun Sytem – A jövő fegyverrendszere.
- Az angol loitering munition „bolyongó” lőszerre meghonosodott hazai szakkifejezés, de kamikaze drónként is említik.
- SEOSS – Stabilized Electro-Optical Sighting System – stabilizált elektro-optikai érzékelőrendszer.
- ROSY – Rapid Obscuring System – gyors álcázórendszer.
- NATO STANAG 2468 – AMOVP-4(A), Technical Aspects of the Transport of Military Materials by Railroad.

Tömböl László – Juhancsik János

NASAMS – Légvédelem a XXI. században

Haditechnika Fiataloknak sorozat

A katonai hivatás népszerűsítése, valamint a haditechnikai eszközök történetének, műszaki paramétereinek és alkalmazási lehetőségeinek bemutatása érdekében a Zrínyi Kiadó 2020-ban könyvsorozat indított *Haditechnika fiataloknak* címmel. A NASAMS című kiadvány a nagy múltú és folyamatosan megújuló légvédelmi tűzér és rakéta fegyvernemet mutatja be az 1870-es évek első ballonelhárító lövegeitől, napjaink sok célcSATORNÁS, moduláris, nyitott architektúrájú légvédelmi rakétarendszereig.

„A légtér szuverenitása és a légi felségjog megtartása megköveteli, hogy az adott ország fenntartsion olyan katonai, fegyveres képességeket, amelyek alkalmasak az ország légtérébe feltehetően ártó, ellenséges szándékkal belépő repülőeszközök tevékenységének megakadályozására” – írja bevezetőjében Tömböl László nyugállományú vezérezredes.

A kötet részletesen szól a fegyvernem történetéről, valamint a Honvédelmi és Haderőfejlesztési Programban beszerzett, a XXI. század technológiáját képviselő NASAMS közepes hatótávolságú légvédelmi rakétarendszerről és elemeiről.

A kiadvány szabatos műszaki kifejezésekkel, ugyanakkor közérthető nyelvezetben mutatja be a légvédelmi rakéta-rendszerek felépítését, fejlesztésük történetének legfontosabb állomásait és az eszközök működési elvét. Külön fejezet foglalkozik a II. világháború befejezését követően Magyarországon telepített tűzrendszerekkel, és azok elemeivel. A szerzők figyelmének középpontjában a címben is szereplő National Advanced Surface to Air Missile System bemutatása áll. A számos színes fotóval és grafikával illusztrált kötetből megismerhetők a tűzelosztó központ, a multifunkciós radar, az elektro-optikai szenzor, a rakéták és az indítóberendezés főbb műszaki adatai és a lehetséges konfigurációk. Az ifjúság számára készített kiadványt kiegészíti egy QR-kóddal elérhető ingyenes szimulátor, a SAM (Surface to Air Missile System Simulator), egy ugyancsak QR-kóddal elérhető film az MH 12. Arrabona Légvédelmi Rakétaezred 2019-es éleslövészetéről, valamint a legkisebb érdeklődők számára készített kifestő melléklet is.

A Tömböl László és Juhancsik János által írt, a Zrínyi Kiadónál 2021-ben megjelent, puhafedelű kötet terjedelme 72 oldal. 2500 Ft-os áron kapható a könyvesboltokban, illetve közvetlenül a Zrínyi Kiadótól helyszíni kedvezménnyel 1875 Ft-ért. Cím: 1024 Budapest, Fillér utca 14., (tel.: 06 1-459-5373, e-mail: cinti@hmzrinyi.hu), továbbá megrendelhető a shop.hmzrinyi.hu weboldalon is. (DRU.)



Filipovics Alex*

Az elektromos és hibrid hajtásláncú személy- és tehergépjárművek alkalmazásának lehetőségei a Magyar Honvédségben I. rész

Mai világunk égető gondolatai között több olyan is akad, amelynek fő okozója a gépjárműállomány. Az egyik fő probléma a kőolaj- és földgázkészletek véges mennyisége. Az Amerikai Egyesült Államok Energetikai Információs Hivatalának becslése szerint a kőolaj-készletek körülbelül 41 éven belül, míg a földgázkészletek mintegy 155 éven belül merülnek ki. [1] A másik probléma a levegőszennyezés, amelyben a gépjárműveken kívül más belső égésű motorral rendelkező közlekedési eszközök (hajók, repülőgépek, vonatok stb.) is szerepet játszanak. A gépjárművek által okozott levegőszennyezés csökkentése érdekében az Európai Unió (EU) egyre szigorúbb károsanyag-kibocsátás normákat – jelenleg az Euro 6d-ISC-FCM érvényes – vezet be. Ennek következtében a gépjárműgyártó cégek egyre kevésbé szennyező, a környezetbarát elvekre törekvő gépjárműveket gyártanak, amelyet úgy érnek el, hogy a belső égésű erőforrást hibrid és elektromos meghajtással (alternatív meghajtás) párosítják vagy helyettesítik. [2]

A tanulmány célja az alternatív hajtásláncú személy- és tehergépjárművek alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata a Magyar Honvédségben (MH). A gépjárművek technikatörténetében a hibrid és tisztán elektromos hajtásra történő áttérés jelentős fejlődésnek tekinthető, mivel a korábbi közlekedési eszközök működésük során benzint vagy gázolajat égettek el annak érdekében, hogy a mozgáshoz szükséges energiát előállítsák. Az alternatív hajtásláncú gépjárművek megjelenése azért is jelentene fordulópontot, mert a megfelelő megújuló energia alkalmazása (pl.: napenergia) hosszú távú megoldást jelent az „üzemanyagkészlet” felhasználásában. A tanulmányban – eltekintve minden más, a gépjárművek működése közben felhasználandó anyagtól – üzemanyagnak nevezünk minden olyan anyagot, amelynek égése során hőenergia szabadul fel. Az

üzemanyagok, halmazállapotuk szerint szilárd, cseppfolyós vagy gáznemű anyagok lehetnek.

Szilárd tüzelőanyagok közé tartozik pl.: a fa, a szén stb., a folyékony üzemanyagok közül legfontosabb a gázolaj, a benzin, a kerozin vagy éppen a folyékony hidrogén. Bizonyos gáznemű üzemanyagokat a tárolás megkönnyítése érdekében cseppfolyósítva tárolnak pl.: a földgázt. [3]

A GM Defense LLC¹ az amerikai hadsereggel együttműködve kutatásokat végez az alternatív hajtásláncú járművek katonai alkalmazhatósága érdekében. A GM Defense napjainkra látványos eredményeket ért el, ugyanis 12 hét alatt hibrid hajtásúvá alakítottak át egy belső égésű motorral rendelkező, könnyű személyszállító járművet. A biztató eredmények ellenére sem a cég, sem a hadsereg nem tervezi harcjárművek tömeges átalakítását, mivel a jelenleg rendelkezésre álló akkumulátorok energiasűrűsége ezt nem teszi lehetővé. Ahhoz, hogy egy hibrid jármű képes legyen ugyanazt a teljesítményt nyújtani, mint egy belső égésű motorral szerelt típus, maga az akkumulátor-csoomag nagyobb és nehezebb lenne, mint a harcjármű. Figyelembe véve, hogy az USA és Kanada is tervezi alternatív hajtásláncú járművek alkalmazását, valószínűsíthető, hogy további államok hadseregei, pl. a Magyar Honvédség is tesz hasonló lépéseket. [4] [5]

Sokan úgy gondolják, hogy a hibrid hajtás a 20. század találmánya, noha a történelem során már korábban is történtek kísérletek elektromos hajtás személygépjárműbe történő építésére. Az első hibrid autónak az Armstrong Phaeton számít (1. ábra), amely 1896-ban jelent meg. A járművet 6,5 literes hengerűrtartalmú, kéthengeres motor, és egy dinamóval összekapcsolt lendkerék hajtotta. A dinamó, valamint a fékezésor keletkezett energia töltötte a személygépjárműben található akkumulátort, amelyről a lendkerék az áramot kapta. Az akkumulátor feladata a lám-

ÖSSZEFOGLALÁS: A kőolaj- és a földgázkészletek véges mennyisége, valamint a levegőszennyezés napjaink két olyan fő problémája, amelyekben jelentős szerepet játszanak a közlekedési eszközök, azon belül a gépjárművek is. E problémák enyhítése érdekében az Európai Unió egyre szigorúbb károsanyag-kibocsátási normákat vezet be. A szabályozás következtében a különböző cégek kevésbé szennyező, fokozottan környezetbarát – elsősorban hibrid vagy tisztán elektromos – gépjárműveket gyártanak.

KULCSSZAVAK: alternatív hajtáslánc, hibrid gépjármű, levegőszennyezés, tisztán elektromos gépjármű

ABSTRACT: In our days two major problem vehicles play a significant role, which are the finite quantity of crude oil and natural gas resources and the air pollution. To ease these problem, the European Union sets up more and more strict emission standards, through these the different businesses make more environmentally friendly vehicles, which manifests in hybrid or fully electric vehicles.

KEY WORDS: alternative powertrain, hybrid vehicle, air pollution, fully electric vehicle

* Hadnagy, Magyar Honvédség 64. Boconádi Szabó József Logisztikai Ezred, harcanyagellátó szakaszparancsnok. ORCID: 0000-0002-8702-0519



1. ábra. Az első hibrid autó, az Armstrong Phaeton [6]

pák működtetése, valamint a motor beindításában való segítség volt. Az Armstrong Phaeton egy egyetlen példányban legyártott kísérleti jármű volt, amely rendszeres használata ellenére sokáig rejtve maradt a nyilvánosság előtt, mígnem tavaly árverésre nem bocsájtották. [6]

Az első hivatalos hibrid szériaautónak az 1997-ben megjelent Toyota Prius számít. Jelenleg is ez a leginkább ismert alternatív hajtásláncú személygépjármű a világon, és ebből a típusból adták el a legtöbbet világszerte. [6]

Ahhoz, hogy ezeknek a gépjárműveknek az MH-ban történő alkalmazhatóságát vizsgáljuk, elengedhetetlen a különböző hajtásláncok bemutatása.

ALTERNATÍV HAJTÁSLÁNCÚ GÉPJÁRMŰVEK

Gyakori tévedés az alternatív meghajtások területén, hogy a köznyelvben sokszor a hibrid járműveket is elektromosnak nevezik. A részgazság tisztázásához először az elektromos gépjármű fogalmát célszerű megismerni. „Az elektromos autó egy vagy több elektromos motor által hajtott közlekedési eszköz. A meghajtáshoz szükséges elektromos áramot akkumulátorban vagy más energiatároló eszközben viszi magával.” [7] Ezáltal elektromos autónak csak azok a járművek nevezhetők, amelyek tisztán elektromosak, azaz nem található bennük belső égésű motor. A tisztán elektromos járművek képességei teljesítmény és hatótávolság szempontjából egyaránt korlátozottak, ezek ellensúlyozására a gyártók az elektromotor mellett gyakorta egy belső égésű motort is alkalmaznak. Ezeket a járműveket nevezzük hibrideknek. A köznyelvben előforduló hibás szóhasználat onnan eredhet, hogy a hibrid járművek többsége is képes tisztán elektromos módban közlekedni, ettől azonban még nem számítanak elektromos járműnek. [7]

Az alternatív hajtásláncú járművek többféle szempont szerint csoportosíthatók. Az egyik szempont a tisztán elektromosan megtehető hatótávolság. (1. táblázat)

A tisztán elektromosan megtehető hatótávolság szempontjából az öntöltő hibrid a leggyengébb, mivel az ilyen járművek egy része egyáltalán nem képes tisztán elektromos haladásra. Az ún. full-hibrid típusok már képesek erre, de csak néhány km erejéig. További hátránya ennek a típusnak, hogy külső energiaforrásból nem lehet tölteni, csak a fékezés energiája, valamint – állandó menetsebesség esetén – a generátorból nyert többletenergia tölti a gépjárműben található akkumulátort. A belső égésű motor és az elektromotor egyszerre vagy külön-külön is képes a műkö-

1. táblázat. Az alternatív hajtásláncú járművek által tisztán elektromosan megtehető hatótávolságok (A szerző szerkesztése [7] alapján)

Meghajtás módja	Tisztán elektromos hatótávolság (km)
Öntöltő hibrid	0 – néhány km
Plug-in hibrid	20 – 50
Hatótávolság-növelt elektromos autó	100 – 150
Üzemanyagcellás elektromos autó	650+
Tisztán elektromos autó	100 – 250 (Tesla: 400 – 500)

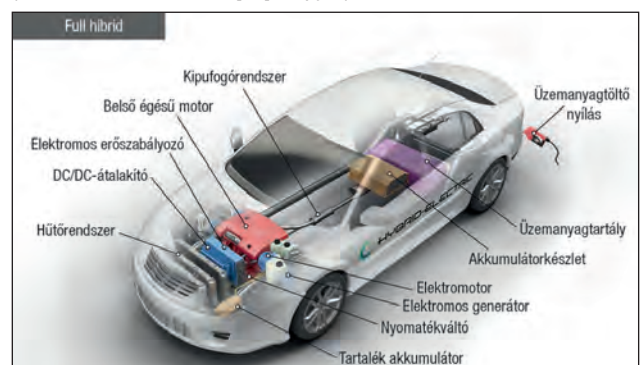
désre, adott esetben az erről szóló döntést a rendszer vagy a gépjárművezető is meghozhatja. [8]

A full hibrid járművek álló helyzetben készenléti módba kapcsolnak át, ezzel megszüntetve a zaj- és károsanyag-kibocsájtást. Finom elinduláskor típustól függően kb. 50 km/h-s sebességig csak az elektromotor működik, a kis kapacitású akkumulátor miatt azonban, ez csak néhány km-ig tartható fenn, utána beindul a belső égésű motor. A rendszer parkoláskor is csak az elektromotort használja, mivel ez a manőver nem igényel sem nagy sebességet, sem nagy nyomatékot. Lassú, egyenletes sebességnél a belső égésű motor csak az elektromotort segíti, nagyobb sebességnél azonban ez éppen fordítva történik. Intenzív gyorsításkor – a maximálisan elérhető hatás elérése érdekében – mindkét motor a legnagyobb teljesítményen működik. Fékezéskor a hibrid rendszer leválasztja a belső égésű motort, és a fékezésből származó energiát felhasználva tölti az akkumulátorokat. A töltés akkor a leghatékonyabb, ha minél hosszabb ideig tart, és egyenletesen történik. [8]

A FULL HIBRID GÉPJÁRMŰVEK

A hibrid gépjárművek rendkívüli előnye a belső égésű motorral szerelt típusokhoz képest, hogy hiányzik belőlük számos bonyolult és drága (több fokozatú nyomatékváltó, kettős tömegű lendítőkerék, tengelykapcsoló stb.) alkatrész, valamint a hibrid technológiának köszönhetően a fékberetétek és a féktárcsák is lassabban kopnak. A legtöbb full hibrid gépjárműben elektronikus vezérlésű, fokozatmentes nyomatékváltó (sebességváltó) található, amely optimálisan kombinálja a két erőforrást az adott menetdinamikai követelményeknek megfelelően. A legtöbb ilyen típusú autóban az akkumulátort a hátsó ülések alá helyezik

2. ábra. Személygépjármű általános full hibrid kialakítása (A szerző szerkesztése [10] alapján)



el annak érdekében, hogy az a lehető legkevésbé csökkentse a raktérkapacitást. [9]

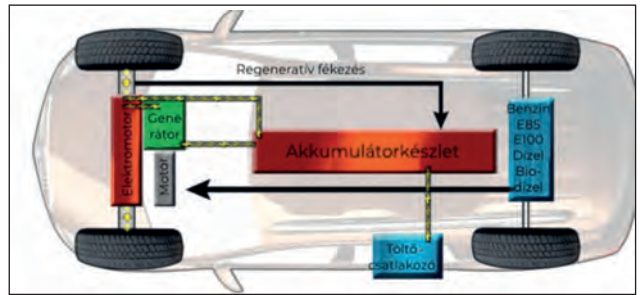
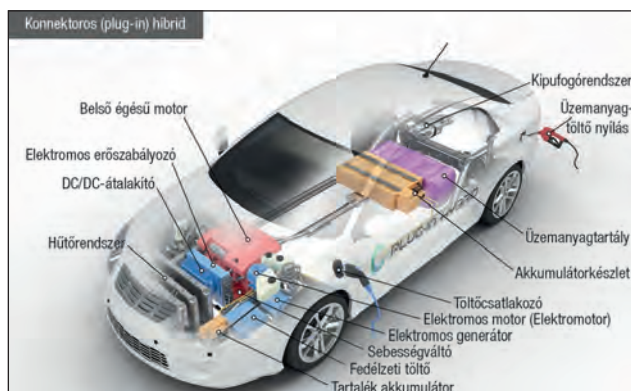
A 2. ábrán látható, hogy a full hibridek nem sokban különböznek a hagyományos belső égésű motorral szerelt társaiktól. Az alkatrészek közötti nagyobb eltérések a hibrid hajtáslánc miatt adódnak, ezek az elektromos erőszabályozó, az akkumulátorkészlet, az elektromotor, az elektromos generátor, a tartalék akkumulátor és a DC/DC-átalakító. Ez utóbbi feladata, hogy az akkumulátor, a generátor és az elektromotor eltérő feszültségeit egymásba alakítsa. Az ábrán jól látható az akkumulátorok elhelyezkedése, valamint szembetűnő, hogy az akkumulátor töltése külső forrásból nem lehetséges. A full hibrid járművek közé tartoznak például az újabb Toyota Priusok, valamint a márka Auris és Yaris típusai, illetve a Toyota leányvállalatának, a Lexusnak a CT200h és az IS300h típusa is.

A PLUG-IN HIBRID GÉPJÁRMŰVEK

Tisztán elektromos hatótávolság szempontjából kedvezőbb a plug-in hibrid (a köznyelvben konnektoros) technológia, amellyel a jármű már 20–50 km megtételére is képes. Jelentős különbség a full hibrid és a plug-in hibrid között, hogy nagyobb kapacitású akkumulátorral rendelkezik, amelyet külső forrásból számos helyen (otthon, munkahelyen, nyilvános töltőponton) fel lehet tölteni. A full hibridhez hasonlóan ezek a gépjárművek is képesek a fékezéskor és guruláskor keletkezett többletenergia felhasználásával tölteni az akkumulátort. [7] A hibrid hajtás az erőátvitelt a full hibrid modellekhez hasonlóan valósítja meg, tehát figyelembe veszi a környezeti és egyéb tényezőket (pl.: az akkumulátor töltöttsége), de a gépjárművezető is kiválaszthatja, hogy adott esetben a belső égésű motort vagy az elektromotort kívánja-e alkalmazni. [11]

Ha összehasonlítjuk a full hibrid (2. ábra) és a konnektoros (plug-in) hibrid (3. ábra) kialakítású gépjárműveket, akkor szembetűnő, hogy a fő különbséget a töltőcsatlakozó jelenti. Ennek segítségével az akkumulátort akár otthon vagy nyilvános töltőponton is fel lehet tölteni, de továbbra is adott a lehetőség arra, hogy a belső égésű motor és generátora szolgáltatson töltést. Ez a megoldás előnyös a városi közlekedés szempontjából, hiszen az elektromotor alkalmazásával jelentősen csökkenthető a gépjármű fogyasztása és károsanyag-kibocsátása, a városon kívüli hosszabb utakra azonban rendelkezésre áll egy belső égésű motor is. Ebbe a kategóriába tartozik például a Hyundai Ioniq, a BMW 330e, illetve a Kia Niro is. [7] [12]

3. ábra. Személygépjármű konnektoros (plug-in) hibrid kialakítása (A szerző szerkesztése [12] alapján)



4. ábra. A hatótávnövelt elektromos autók általános felépítése (A szerző szerkesztése [13] alapján)

A HATÓTÁVNÖVELT ELEKTROMOS GÉPJÁRMŰVEK

A hatótávnövelt elektromos autó (REX – Range Extender) egy kivételes típus – egyes szakértők szerint nem is számít hibridnek –, hiszen a hibrid modelleknél mindkét motor képes meghajtani a járművet, ennél a típusnál azonban csak az elektromotor az, amely a hajtást szolgáltatja, a belső égésű motor csupán a generátort forgatva tölti az akkumulátort. [7]

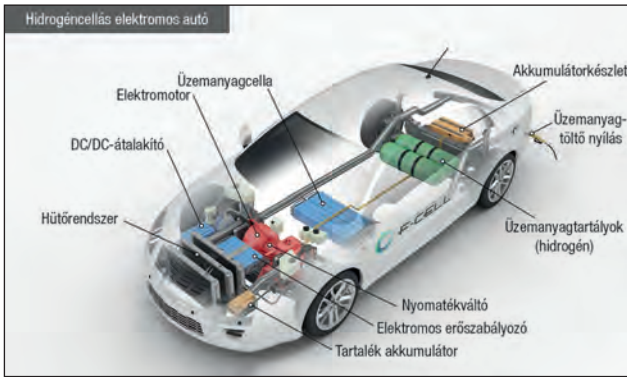
Mivel a REX a legkevésbé ismert hibrid technológia, ezért kevés gépjárműtípuson alkalmazzák. Idesorolható a BMW i3 REX és a Chevrolet Volt. A közösségi közlekedési eszközök (autóbuszok, londoni taxik) között azonban a leginkább elterjedt ez a technológia, mivel alkalmazásával jelentősen csökkenthető a városokban a szén-dioxid kibocsátás. [14] Gyakorta alkalmazzák azonban nagy és extrém terhelésű járműveknél. Ezek esetében ugyanis olyan bonyolult lenne az erőátvitelt megoldani, hogy sok esetben elektromotorok hajtják a kerekeket, és egy nagyteljesítményű dízelgenerátor biztosítja hozzá az áramot. [15]

AZ ÜZEMANYAGCELLÁS GÉPJÁRMŰVEK

Az üzemanyagcellás technológia a Toyota nevéhez fűződik, ugyanis a cég már 1992 óta kísérletezik és fejleszti a hidrogén alapú hajtásláncot. Valamennyi közül ez a technológia a legújabb és legköltségesebb. Napjainkban kevés kiépített hidrogéntöltő állomás létezik (Magyarországon 2021. áprilisban adták át az elsőt), de világszerte is nagyon kevés gépjárműben található ilyen hajtáslánc. A hidrogénnel töltött üzemanyagtartályok és az üzemanyagcella elhelyezésének egyik lehetőségét az 5. ábra szemlélteti. [16] [17]

Ez a technológia úgy állítja elő a gépjármű számára szükséges elektromos áramot, hogy az üzemanyagcellában a fordított elektrolízis során kölcsönhatásba lép egymással az oxigén és a hidrogén, amelynek következtében elektromos áram, és víz jön létre. A folyamat során nem kerül a környezetbe semmilyen üvegházhatású gáz, vagy bármilyen egyéb környezetet szennyező anyag, a végtermék tiszta víz. [19] [20]

A működés elve rendkívül egyszerű: a szerkezet egy elemi cellája két elektródából, és a közöttük elhelyezett polimer membránból áll. A félig áteresztő membránon csak a protonok juthatnak át, így a hidrogénionok a katód körül gyűlnek össze, ahol reakcióba lépnek az oxigénionokkal. Az anódon felszabaduló elektronok elektromos áram formájában hagyják el a cellát, és az autó elektromos hajtását szolgálják. Az üzemanyagcella kb. 10 000–20 000 óras élettartama alatt semmilyen karbantartást nem igényel, ugyanakkor a degradáció következtében a teljesítménye

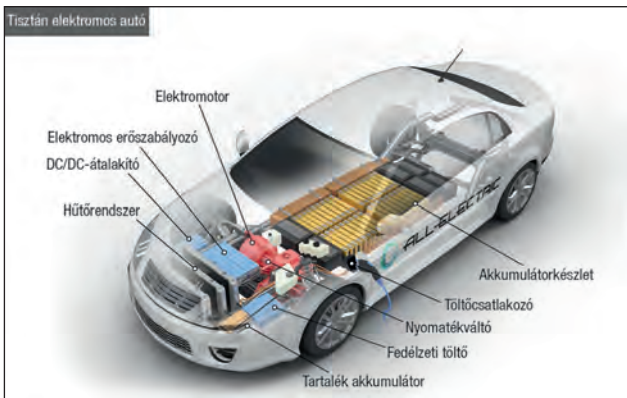


5. ábra. Az üzemanyagcellás elektromos autók általános felépítése (A szerző szerkesztése [18] alapján)

folyamatosan romlik. [20] A kémiai reakció egyetlen mellékterméke a víz, amellyel a Toyota szerint: „ez az autó valójában tisztítja a levegőt menet közben”, ugyanakkor azt is fontos tudni, hogy jelenleg az ipari hidrogén túlnyomó részét még nem zöld módon (pl. napelemekkel) állítják elő, hanem hagyományos környezetkárosító petrokémiai módszerekkel. [21]

A TISZTÁN ELEKTROMOS GÉPJÁRMŰVEK

A 6. ábrán jól látható, hogy a tisztán elektromos autók felépítése jelentős mértékben eltér a korábbi típusoktól. Nem található meg bennük a folyékony üzemanyagok tárolására és továbbítására szolgáló rendszerek és alkatrészeik (üzemanyagtartály, tápszivattyú, csővezetékek stb.). A tisztán elektromos technológiának köszönhetően, ezekben a gépjárművekben kevesebb mechanikai igénybevételnek kitett alkatrész található. [22]



6. ábra. A tisztán elektromos autók általános felépítése (A szerző szerkesztése [22] alapján)

KÖRNYEZETVÉDELMI ÉS GAZDASÁGOSÁGI SZEMPONTOK

Az alternatív hajtásláncok egyik legmeghatározóbb előnye a belső égésű motorral szerelt társaikhoz képest, a környe-

zetbarát technológia és a fenntarthatóság. Amennyiben megkülönböztetünk közvetlen és közvetett károsanyag-kibocsátást, úgy közvetlennek számíthatnak a kipufogórendszerből a levegőbe jutó káros anyagok, míg közvetett szennyezés az egészségre, illetve a környezetre ártalmas melléktermékek, amelyek az autó előállítása és élettartama során keletkeznek. Az alternatív hajtásláncú járművek közvetlen károsanyag-kibocsátása kisebb a tisztán robbanómotorral szerelt eszközökhöz képest, ahhoz azonban, hogy a közvetett károsanyag-kibocsátást is meg tudjuk becsülni, meg kell vizsgálnunk, hogy az alkalmazó milyen módon állítja elő (fosszilis, megújuló, nukleáris vagy egyéb forrás) a gépjárművek töltéséhez szükséges elektromos áramot. [9] A jelenlegi technológiák mellett rendkívüli környezetromboló hatása van az akkumulátorok előállításához szükséges lítium és a ritkaföldfémek (pl. kobalt) bányászataának is.

A környezetvédelmi szempontokon túl, a hibrid gépjárművek megítélésénél meghatározó tényezőt jelentenek a gépjárművekkel kapcsolatos költségek. Ebbe a körbe tartozó gazdasági kategóriák: a vételár, az üzemanyagköltség, valamint az üzemben tartási költségek. Az alternatív hajtásláncú gépjárművek hátránya a magas árak. Mivel a hibrid eszközökben kétféle meghajtás található, ezért drágábbak, mint a hagyományos belső égésű motoros társaik. Az ilyen típusú, és a tisztán akkumulátoros hajtású gépjárművekben található akkumulátorok is rendkívül drágák. A 2. táblázat a legfrissebb (2022. július) árlisták alapján szemlélteti a Kia Sorento és a Kia Niro különböző hajtásláncú típusait.

A Kia Sorento esetében nincs nagy különbség a hagyományos belső égésű motorral szerelt, és a full hibrid technológiát alkalmazó modell kiskereskedelmi ára között. Nagyobb az árbeli különbség a full hibrid és a plug-in hibrid között, amely a Sorento esetében 11%, míg a Niro-nál 27%. A tisztán elektromos és a plug-in hibrid modell közötti árnövekedés 23%-os. [23] Vagyis jól látható, hogy a több akkumulátor költsége jelentősen meghaladja a belső égésű motor és a komplex erőátvitel költségét.

A hibrid gépjárművek üzemben tartási költsége is magasabb a két erőforrás, valamint a lítium akkumulátor miatt, amelynek a cseréje akár több millió forintba is kerülhet. Egyedül a tisztán elektromos autóknak alacsonyabb az üzemben tartási költségük, mivel kevesebb bennük a kopó alkatrész. [9]

A 3. táblázatból kitűnik, hogy az üzemanyag-fogyasztás mértéke, és 100 km-re vetített költsége függ attól, hogy milyen hajtásláncú járművet alkalmazunk. A táblázatban példaként feltüntetett gépjárművek kategória, teljesítmény és ár tekintetében hasonlóak. A full hibrid gépjárműnél azért nem számolhatunk elektromos fogyasztással, mert nem képes tisztán elektromos hajtásra, és ez a legtöbb full hibrid modellre igaz. A táblázatból az alternatív hajtásláncú gépjárművek fogyasztásbeli előnyei is láthatók. A 100 km-re vetített költséget leginkább a tisztán elektromos és a konnektoros (plug-in) hibrid típusokkal lehet csökkenteni. A költségeket a Nemzeti Adó- és Vámhivatal (NAV) és az E.ON energiaszolgáltató hivatalos oldalán található, 2022 szeptemberi aktuális adatokkal számolva a 4. táblázat tartalmazza.

2. táblázat. Különböző hajtásláncú személygépjárművek vételárainak összehasonlítása [23]

Típus	Kia Sorento	Kia Sorento Hybrid	Kia Sorento Plug-in Hybrid	Kia Niro Hybrid	Kia Niro Plug-in Hybrid	Kia e-Niro
Kiskereskedelmi ár (Ft)	15 490 000	15 990 000	17 790 000	9 999 000	12 749 000	15 699 000



3. táblázat. Különböző hajtásláncú járművek átlagfogyasztása és költsége (A szerző szerkesztése [23] alapján)

Meghajtás típusa	Példajármű	Teljesítmény (kW/LE)	Nyomaték (Nm)	Kapacitás (l, kWh, kg)	Hatótávolság (km)	Költség 100 km-re (Ft)
Belső égésű motoros	Suzuki Vitara	88/120	156	Benzin: 47 l	886	2546
Hibrid	Suzuki Vitara	99,6/135	198	Benzin: 47 l	Benzines üzemben: 886	2546
Konnektoros (plug-in) hibrid	Kia Niro PHEV	104/141	265	Benzin: 43 l Akkumulátor: 8,9 kWh	Benzines üzemben: 811 Elektromos üzemben: 49	2436
Hatótávnövelt	Chevrolet Volt	111/152	370	Benzin: 35 l Akkumulátor: 18,4 kWh	Benzines üzemben: 466 Elektromos üzemben: 85	3166
Üzemanyagcellás	Toyota Mirai	134/182	300	Hidrogén: 5,6 kg	629	3591
Tisztán elektromos	Kia e-Niro	100/136	395	Akkumulátor: 39,2 kWh	289	478

4. táblázat. 2022. szeptemberi energia/energiahordozó egységárak

Energiaforrás	Egységár
Áram	35,293 Ft/kWh
Benzin	480 Ft/l
Dízel	480 Ft/l
Hidrogén	4033,4 Ft/kg (10 €/kg)

AZ ALTERNATÍV HAJTÁSLÁNCOK ELŐNYEINEK ÉS HÁTRÁNYAINAK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

A gépjárművek károsanyag-kibocsátásának – mint közvetlen környezetszennyezés – csökkentése érdekében az EU egyre szigorúbb, a személy- és tehergépjárművekre egyaránt vonatkozó kibocsátási normákat vezet be, amelyeket a gyártóknak kötelező betartaniuk. Az áthidalhatatlan technikai akadályok miatt előtérbe kerül a tisztán elektromosan megtehető hatótávolság, amely a belső égésű motor és az elektromotor kapcsolatától és az akkumulátorok kapacitásától függ. Minél nagyobb az akkumulátorok kapacitása, annál nagyobb távolságot tud megtenni tisztán elektromosan az adott gépjármű.

A feltöltőhálózat kiépítettsége azt jelzi, hogy az adott hajtáslánccal rendelkező járműhöz szükséges feltöltési pontból mennyi található. Az első három típusnál ez a szám azért magas, mert a jól kiépült benzinkúthálózatnak köszönhetően fosszilis üzemanyaggal könnyű feltölteni a járműveket. A tisztán elektromos hajtásút azonban már nehezebb, mivel az elektromos töltőállomások kiépítettsége még hiányos, gyors töltőpontok jellemzően csak nagyobb településeken található, amely tény egybevág az ilyen típusú autók jellemző felhasználási területével. A hidrogén-cellás járművek számára a cikk írásakor mindössze Budapesten található egyetlen töltőállomás.

A feltöltési idő azt jelenti, hogy mennyi idő szükséges ahhoz, hogy teljesen fel legyen töltve az adott jármű akkumulátora és/vagy üzemanyagtartálya, ezáltal újra „útra kész” legyen. A full hibrid modellek és a hidrogén-cellás járművek

esetében ez az érték alacsony, mivel töltőpisztoly segítségével pár perc alatt meg lehet tölteni az üzemanyagtartályukat. Bár a hidrogén esetében ezt a járművezető nem teheti meg, a magas tárolási nyomás (300–700 bar) miatt speciális eszközök és képzett személyzet szükséges a művelet végrehajtásához. A többi hajtáslánccal az érték közepes, mert az akkumulátorok feltöltéséhez több időre van szükség (bár ezt nagyban befolyásolja a töltőberendezés teljesítménye is). A háztartási aljzatból történő töltéshez kb. 11 óra szükséges, míg egy ultragyors töltőállomáson, akár 7 perc alatt is fel lehet tölteni az akkumulátort névleges kapacitásának 80%-ára. A legtöbb gyártó ugyanis az akkumulátorok optimális töltöttségi szintjét 50–80% között határozza meg, továbbá 0%-ról 80%-ra és 80%-ról 100%-ra szinte azonos idő alatt töltődnek fel az akkumulátorok. A szervizhálózat kiépítettségére az adott hajtáslánccal rendelkező márkák hazai márkakereskedéseinek számából, illetve az alkalmazott technológia elterjedtségéből következtethetünk. A tisztán elektromos hajtáslánc esetében figyelembe kell venni a márkafüggő kiépítettséget – a Teslának például csak egyetlen márkaszervize van az egész országban. A járművek alkatrészeinek nagy része megegyezik a belső égésű motorral szerelt társaikkal, az akkumulátorkészletek beszerzése azonban bonyolultabb, ezért az alkatrész-ellátottság a legtöbb esetben csupán közepesre értékelhető. Az üzemanyag estében a hibrid hajtásláncoknál a sorrend attól függ, hogy melyik a fő energiaforrás. Full hibrid esetében a belső égésű motor a fő erőforrás, és az elektromotor csak segíti azt, míg a hatótávnövelt elektromos autó esetében éppen fordított a helyzet: az elektromotor a fő erőforrás, és a belső égésű motor csak generátorként működik a folyamatos meghajtás biztosításának érdekében. Az igénybe vehető állami támogatást a mindenkori pályázatok figyelembevételével jelezzük a táblázatban. Jelenleg csak a tisztán elektromos autókra kapható állami támogatás civil szervezetek és egyesületek, természetes személyek, illetve felsőoktatási intézmények részére. [9] [25]

Összességében a közvetlen környezetszennyezés és a tisztán elektromos hatótávolság tekintetében az üzemanyagcellás és a tisztán elektromos hajtáslánc alkalmazása tűnik a legjobb megoldásnak, utóbbira többnyire állami támogatás is igényelhető. A töltő- és szervizhálózat kiépí-

5. táblázat. Az alternatív hajtásláncok előnyeinek és hátrányainak összehasonlítása (A szerző szerkesztése)

Szempont	Full hibrid	Plug-in hibrid	Hatótávnövelt	Üzemanyag-cellás	Tisztán elektromos
Közvetlen környezetszennyezés	Magas	Közepes	Alacsony	–	–
Tisztán elektromos hatótávolság	Nagyon alacsony	Alacsony	Közepes	Nagyon magas	Magas
Feltöltő hálózat kiépítettsége	Magas	Magas	Magas	Nagyon alacsony	Közepes
Feltöltési idő	Alacsony	Közepes	Alacsony/ Közepes	Alacsony	Közepes (a töltőpont kapacitásától függően)
Szervizhálózat kiépítettsége	Magas	Magas	Magas	Nagyon alacsony	Közepes
Alkatrész-ellátottság	Közepes	Közepes	Közepes	Nagyon alacsony	Közepes
Üzemanyag	Benzin/dízel + elektromos energia	Benzin/dízel + elektromos energia	Elektromos energia + benzin/dízel	Hidrogén	Elektromos energia
Állami támogatás	Nincs	Nincs	Nincs	Nincs	Van

tettsége, valamint az alkatrész-ellátottság terén azonban fordított a sorrend. Ezeket figyelembe véve a full hibrid, a plug-in hibrid vagy a hatótávnövelt elektromos autó lenne a legjobb megoldás, mivel ezeknek a fő hajtóanyaguk folyékony üzemanyag. Kritikus pont az alkatrész-ellátottság is; a hidrogéncellás hajtáslánc esetén az új technológia, a tisztán elektromos gépjárműveknél a nagy kapacitású akkumulátorok miatt.

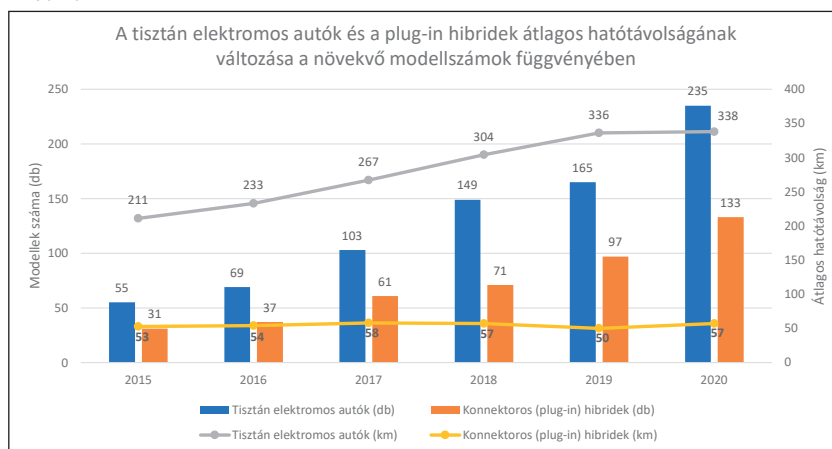
Az alternatív hajtásláncokra irányuló fejlesztések megismerése érdekében célszerű összehasonlítani azokat a belső égésű motoros gépjárművekkel. A hatótávolság, az üzemanyag töltési sebessége és a töltési hálózat kiépítettsége szempontjából a belső égésű motorral szerelt gépjármű típusok jelenleg még előnyösebbnek tűnnek az alternatív hajtásláncú típusokkal szemben.

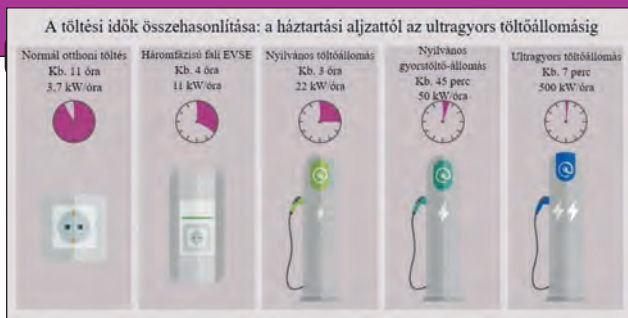
A hatótávolság növekedése nagyobb kapacitású akkumulátorok beszerelésével, vagy az energiasűrűség növelésével érhető el a technológiai fejlődés ütemében. A 7. ábra szemlélteti, hogy 2015 és 2020 között 60%-kal nőtt a tisztán elektromos autók hatótávolsága úgy, hogy darabszámuk több, mint négyszeresére nőtt. A 2019-es és a 2020-as adatok alapján megállapítható, hogy a jelenlegi gépjárművek már átlagosan 330–340 km megtételére képesek. A plug-in hibridek darabszáma is négyszeresére nőtt az elmúlt 5 évben, a tisztán elektromos hatótávolság azonban átlagosan csupán 7%-kal nőtt. Ennek a két hajtásláncnak a fejlődéséből arra lehet következtetni, hogy mivel a plug-in hibridek fő erőforrása a belső égésű motor, ezért ott az akkumulátorok ára miatt nem igazán törekednek a gyártók a hatótávolság növelé-

sére. Ezzel ellentétben a tisztán elektromos gépjárműveknél egyedül az elektromotor az erőforrás, ezért ott szükségszerű a hatótávolság növelése. Az ábra alapján arra következtethetünk, hogy mindkét alternatív hajtásláncú gépjármű darabszáma nőni fog, az átlagos hatótávolságuk azonban csak kis mértékben fog emelkedni. [27]

Fontos fejlesztési irány a gépjárművek töltési idejének csökkentése, hiszen míg egy belső égésű motoros gépjárművet pár perc alatt fel lehet tölteni folyékony üzemanyaggal, addig egy hibrid vagy tisztán elektromos jármű feltöltése sokkal több időt vesz igénybe. Jelenleg az átlagos akkumulátor-kapacitás 60 kWh, amelyhez egy több száz kW teljesítményű töltő szükséges, hogy az eszköz pár perc alatt feltölthető legyen. Ezt a teljesítményt jelenleg egyetlen gépjárműtípus sem támogatja, de egyre több olyan modell

7. ábra. A tisztán elektromos autók és a plug-in hibridek átlagos hatótávolságának változása a növekvő modellszámok függvényében (A szerző szerkesztése [26] alapján)





8. ábra. A töltési módok és sebességek összehasonlítása (A szerző szerkesztése [28] alapján)

létezik, amely már rendelkezik gyorsító funkcióval. A 8. ábra a jelenlegi töltési lehetőségeket mutatja be, illetve azt, hogy kb. mennyi idő szükséges egy 60 kWh teljesítményű akkumulátor feltöltéséhez.

Az E.ON és több személygépjármű-gyártó cég is azt javasolja, hogy a gépjárművek akkumulátorait maximum 90%-ig töltsék fel, ugyanis az ennél nagyobb szintű töltés jelentős mértékben csökkentheti az akkumulátor élettartamát.

(Folytatjuk)

ÖSSZEGRZÉS

Az alternatív hajtásláncú gépjárművek fontos szerepet játszhatnak a jövő közlekedésében, hiszen a fosszilis üzemanyag előállításához szükséges forrásaink végesek. Tény, hogy hatótávolság tekintetében az alternatív hajtásláncú típusok még nincsenek versenyben a hagyományos belső égésű motoros típusokkal, de pár éven vagy évtizeden belül, már elérhetik ugyanazt a szintet. A civil szférában könnyebben alkalmazhatók ezek a gépjárművek, a katonai alkalmazás terén azonban sokkal körültekintőbben kell megválasztani, hogy melyik alternatív hajtásláncú gépjárművet rendszeresítsék.

A tanulmány következő részében a szerző az alternatív hajtásláncú gépjárművek katonai alkalmazhatóságát vizsgálja.


HIVATKOZOTT IRODALOM

- [1] Tom Taylor. Amerikai Egyesült Államok Energetikai Információs Hivatalának becslése, <https://www.worldometers.info/> (Letöltve: 2022.8.26.);
- [2] 6/1990. (IV. 12.) KöHÉM rendelet a közúti járművek forgalomba helyezésének és forgalomban tartásának műszaki feltételeiről, https://net.jogtar.hu/getpdf?docid=99000006.KOH&targetdate=ffffff4&printTitle=6/1990.+%28IV.+12.%29+K%C3%B6H%C3%89M+rendelet&referer=http%3A/net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi%3Fdocid%3D00000001.TXT (Letöltve: 2021.8.19.);
- [3] <https://hu.warbletoncouncil.org/combustible-505> (Letöltve: 2022.8.29.);
- [4] Jen Judson. Is the Army warming up to electric vehicles in its fleet? <https://www.defensenews.com/land/2021/07/12/is-the-army-warming-up-to-electric-vehicles-in-its-fleet/> (Letöltve: 2022.3.21.);
- [5] LCol I. Miedema. „Hybrid-electric military vehicles for the canadian army” Canadian Forces College, 2016. pp 1. <https://www.cfc.forces.gc.ca/259/290/318/192/miedemai.pdf> (Letöltve: 2022.3.21.);
- [6] 120 éves a világ első hibrid autója, és most eladó, https://hvg.hu/cegauto/20160307_vilag_elso_hibrid_autoja_armstrong Phaeton_1896_elado (Letöltve: 2021.12.14.);
- [7] <https://villanyautosok.hu/elektromos-auto/> (Letöltve: 2021.1.17.);

- [8] <https://www.toyota.hu/hybrid-innovation/index.json> (Letöltve: 2021.1.17.);
- [9] Vas Antal. „Az elektromos autók előnyei és hátrányai” <https://firstrow.hu/az-elektromos-autok-elonyei-es-hatranyai/> (Letöltve: 2021.1.17.);
- [10] Forrás: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-hybrid-electric-cars-work> (Letöltve: 2021.1.17.);
- [11] <https://www.toyota.hu/world-of-toyota/environmental-technology/what-is-a-plug-in-hybrid-new.json> (Letöltve: 2021.1.17.);
- [12] <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-plug-in-hybrid-electric-cars-work> (Letöltve: 2021.1.20.);
- [13] Forrás: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/extended-range-electric-vehicle> (Letöltve: 2021.7.21.);
- [14] <https://www.evo.co.uk/technology/202558/what-is-a-hybrid-hybrid-tech-and-how-its-used-in-performance-cars/range-extender-hybrids> (Letöltve: 2021.1.20.);
- [15] Végvári Zsolt. „A szuperkondenzátorok és katonai alkalmazhatóságuk”, *Haditechnika* 53. évfolyam 5. szám (2019): 20–25. <https://doi.org/10.23713/HT.53.2.03>;
- [16] <https://www.toyota.hu/hydrogen/forradalom.json> (Letöltve: 2021.1.25.);
- [17] automotor.hu, Toyota, Átadták az első hazai hidrogén-töltőállomást, és így a Toyota Mirai forgalmazása is megindult <https://www.automotor.hu/hirek/atadtak-az-első-hazai-hidrogen-tooltoallomast-es-igy-a-toyota-mirai-forgalmazasa-is-megindult/> (Letöltve: 2022.2.15.);
- [18] Forrás: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-fuel-cell-electric-cars-work> (Letöltve: 2021.1.25.);
- [19] Toyota.hu <https://www.toyota.hu/world-of-toyota/articles-news-events/2020/mirai-2020> (Letöltve: 2021.1.25.);
- [20] Toyota.hu <https://www.toyota.hu/hydrogen/hidrogen.json> (Letöltve: 2021.1.25.);
- [21] Toyota.hu <https://www.toyota.hu/world-of-toyota/articles-news-events/2021/menet-kozben-tisztitja-a-levegot-a-vadonatuj-toyota-mirai.json> (Letöltve: 2021.1.25.);
- [22] <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work> (Letöltve: 2021.1.25.);
- [23] Kia Sorento és Kia Niro árlista. Kia.com, <https://www.kia.com/hu/> (Letöltve: 2022.7.1.);
- [24] Király Péter – Szabados Péter (2018): „Személygépjármű flottacsere a Magyar Honvédségben”, Budapest, *Katonai Logisztika* 26. évfolyam 1–2. szám p. 176.
- [25] e-cars.hu, <https://e-cars.hu/elektromos-auto-arak-es-allami-tamogatas/> (Letöltve: 2021.7.30.);
- [26] iea.org, Electric car models available globally and average range, 2015–2020, <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/electric-car-models-available-globally-and-average-range-2015-2020-2> (Letöltve: 2021.8.5.);
- [27] iea.org, Trends and developments in electric vehicle markets, url: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021/trends-and-developments-in-electric-vehicle-markets> (Letöltve: 2021.8.5.);
- [28] <https://www.infineon.com/cms/en/discoveries/electric-vehicle-charging/> (Letöltve: 2021.8.6.).

JEGYZETEK

1 A GM Defense a General Motors katonai termékekkel foglalkozó leányvállalata, amelynek központja az észak-karolinai Concordban található.



1. ábra. A James Webb űrteleszkóp 2022 júliusában rögzített felvétele a Carina-ködről. A kozmikus tájképet a teleszkóp NIRCam és MIRI műszereivel készítették [7]

Dr. Szabó Róbert*

Űrtávcsövek reneszánsza

BEVEZETÉS

Napjainkban az űrtávcsövek reneszánszát éljük. Egyre-másra hallunk híreket egy-egy űrtávcsővel történt csillagászati felfedezésről, vagy új űreszköz felbocsátásáról. Nem is csoda, hiszen az űrtechnológia fejlettsége olyan szintet ért el, hogy rutinszerűen juttathatunk űreszközöket Föld körüli, vagy akár távolabbi pályákra is, a technológiai eszközök (számítógépek, digitális képrögzítő eszközök) látványosan fejlődnek, egyre pontosabb méréseket, és az adatok egyre gyorsabb és egyre nagyobb tömegben történő feldolgozását teszik lehetővé. További adalék, hogy létezik egy gyümölcsöző kölcsönhatás a hadiipari és a polgári – jelen esetben a tudományos, még pontosabban asztrofizikai – felhasználás között. Publikus információk elérhetősége híján erről kevesebb szó esik, de belátható, hogy nem jelent gyökeresen eltérő feladatot jó felbontással földi vagy űrbéli célpontot leképezni, nagy mennyiségű adatot tárolni, feldolgozni és visszajuttatni a Földre. Tehát nem járunk messze az igazságtól, ha – a hadiiparra jellemző, sok esetben titkos technológiákat is figyelembe véve – kijelentjük,

hogy az optikai űrtávcsövek és a kéműholdak nagyfokú hasonlóságot mutatnak.

Ennek kiváló példája az amerikai Nemzeti Felderítő Hivatal (National Reconnaissance Office – NRO) és a NASA együttműködése, amelynek során az NRO 2012-ben két Hubble-szerű (azonos főtükör-átmérőjű, de rövidebb fókuszsú, így nagyobb látómezőt biztosító), katonai célokra már nem használt (és így a földön tárolt) távcsövet ajánlott fel tudományos célra. A kutatók kapva kaptak az egyedülálló alkalmon, amelyből megszületett a Nancy Grace Roman¹ űrtávcső, és a hozzá kapcsolódó tudományos misszió terve. A 2,4 méteres átmérőjű főtükörrel rendelkező teleszkóp korábban a Wide-Field Infrared Survey Telescope (WFIRST) néven volt ismert. A teleszkópot – amelynek fő feladata a kozmológiai megfigyelések és exobolygók vizsgálata lesz – 2027-ben tervezik pályára állítani a Nap–Föld-rendszer második Lagrange-pontjába². (2. ábra)

Bár a csillagászatban a teljes elektromágneses spektrumot használjuk – igaz, a rádiótartomány egyes ablakait és a látható fényt kivéve a földi légkör ezeket nem engedi át – ebben a tanulmányban csak a látható, ultraibolya és az

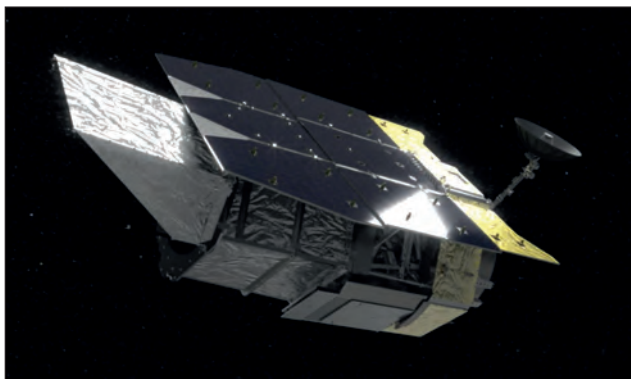
ÖSSZEFOGLALÁS: A csillagászati megfigyelőműszerek egyre nagyobb hányada települ az űrbe, ahol a földi légkör zavaró hatásaitól mentesen végezhetünk megfigyeléseket. Tanulmányunkban áttekinjtjük a látható, az ultraibolya és az infravörös hullámhossz-tartományokban üzemelő legfontosabb csillagászati űrtávcsöveket. Tárgyaljuk felépítésüket, működésüket, műszereiket, legfőbb feladataikat és az eddig elért tudományos eredményeiket. Röviden kitérünk a csillagászat és a hadtudomány űrtechnológiával kapcsolatos kölcsönhatására is.

KULCSSZAVAK: csillagászat, asztrofizika, űrtávcső, NASA, ESA

ABSTRACT: Many astronomical instruments are designed to work in space, where they can do observations without the disturbing effect of the terrestrial atmosphere. In this paper we review the most important astronomical space telescopes that work in the visible, ultraviolet, and infrared parts of the electromagnetic spectrum. We describe their structure, operations, instruments, most important goals, and scientific results. We briefly discuss the interaction between civil and military science regarding space technology.

KEY WORDS: astronomy, astrophysics, space telescope, NASA, ESA

* PhD, DSc, igazgató, Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet. ORCID: 0000-0002-3258-1909



2. ábra. A Nancy Roman Grace infravörös teleszkóp, amelynek főtükre az Egyesült Államok Nemzeti Felfedező Hivatalának adománya volt [1]

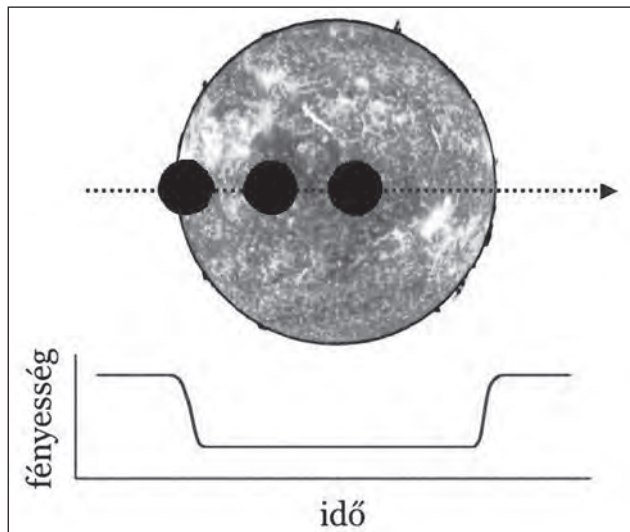
infravörös tartományban működő űrtávcsövekre szorítokunk. A hosszabb hullámhossz-tartományokban mikrohullámú és rádiótávcsövek működnek, a rövidebb hullámhosszokon röntgen-, sőt akár gammatávcsövek is léteznek, amelyek az univerzum nagy energiájú folyamatait hivatottak vizsgálni, ezek ismertetése azonban meghaladná jelen írásunk kereteit. Megjegyzendő, hogy míg évszázadokon át (a meteoritokat és az in situ szondákat kivéve) az elektromágneses sugárzás volt az egyetlen információhordozó, amellyel az univerzum objektumairól és folyamatairól tudomást szerezhettünk, az utóbbi évtizedekben előtérbe került a többcsatornás asztrofizika: amikor is nagy energiájú töltött vagy semleges részecskék, így pl. neutrínók, protonok, kisebb atommagok, illetve az Einstein által megjövendölt, 2015-ben kimutatott és a felfedezést 2017-ben Nobel-díjjal elismert³ gravitációs hullámok (ez utóbbiak a négydimenziós téridő hihetetlenül apró „fodrozódásai”) révén új ablakok nyíltak az univerzumba.

Az ismertetés során nem időrendben, hanem tematikus sorrendben haladunk, azaz az űrtávcsöveket szűk vagy éppen nagyon is tág megfigyelési területeik szerint mutatjuk be.

KEPLER, A BOLYGÓFELFEDEZÉSEK CSÁSZÁRA

A Kepler-űrtávcső ötlete egy 1984-es konferencián merült fel, ahol Bill Borucki⁴ (NASA Ames Research Center, Kalifornia) és kollégái arról értekeztek, hogy milyen pontos fényességmérés érhető el a földfelszínről, és mi történik, ha ugyanezt az űrben próbálják ki. Akkor még egy évtizednyire voltunk az első exobolygó (azaz Naprendszeren túli planéta) felfedezésétől, de már akkor is világos volt, hogy a fedési, vagy tranzitmódszer⁵ hatékony lehet más csillagok körül keringő bolygók kimutatására. A módszer azon alapszik, hogy ha szerencsés szögből figyelünk meg egy bolygót, akkor az periodikusan áthalad központi csillagának korongja előtt, parányi fényességcsökkenést okozva. (3. ábra)

Ha elég pontosan tudunk fényességet mérni, akkor máris kezünkben van egy módszer, amellyel távoli bolygókat fedezhetünk fel. Ha a Naphoz hasonló csillagunk van, akkor a méretarányok miatt egy Jupiter méretű bolygó 1%-os fényességcsökkenést okoz, míg egy Föld méretű objektum mindössze 0,01%-nyit. A tízezred résznyi fényességcsökkenés kimutatása meghaladja a földi műszerek képességeit, ehhez a földi légkör zavaró hatásaitól megszabadulva, az űrbe kell mennünk. Érdeemes végiggondolni, hogy a Naprendszerünket távolról (véletlen irányból) szemlélő hi-



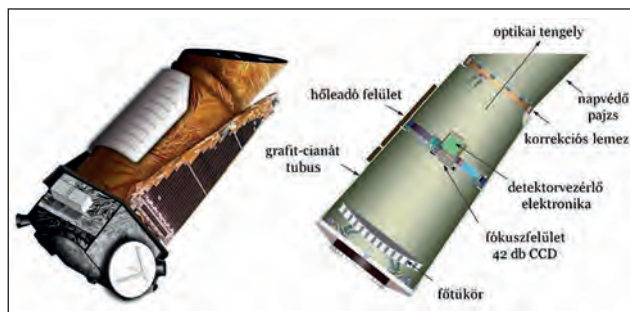
3. ábra. Egy bolygótranszit és a csillag fényében bekövetkező fényességcsökkenés (A szerző szerkesztése)

potetikus űrlakó mindössze egy ezreléknyi eséllyel fogja a Föld Nap-fedéseit látni, és ezek a fedések évente egyszer, mindössze 13 órán keresztül tartanak.

A Kepler űrtávcső koncepciójával a '90-es évek elejétől többször is jelentkezett a NASA-nál Bill Borucki és csapata. Az első exobolygót pedig nem is a fedési módszerrel, hanem a bolygó a csillagra gyakorolt gravitációs hatását kihasználó radiális sebesség módszerrel fedezték fel⁶. A 2000-ben történt első tranzitos exobolygó felfedezése azonban meghozta az áttörést, és a koncepció sokadik próbálkozásra zöld utat kapott. A koncepció ekkor kapta a Kepler⁷ nevet, és a misszió a NASA Discovery típusú küldetéseinek sorába került, 600 millió dolláros költségvetéssel. A program fő célja a Naphoz hasonló csillagok körül keringő, Földhöz hasonló méretű bolygók felfedezése fedési módszerrel. A nagyon pontos fényességméréshez Föld-követő pályát terveztek 372 napos keringési idővel, ami azt jelenti, hogy a Kepler egyre jobban „lemarad a Földtől” a Nap körüli keringés során. Az eszközt 2009 márciusában bocsátották fel a floridai Cape Canaveralról⁸, és néhány hónapig tartó próbaüzem után, megkezdte a tudományos adatok gyűjtését.

Hogyan néz ki egy ilyen specializált műszer, amit egyetlen célfeladatra terveztek, nevezetesen, hogy minél több csillag minél pontosabb fényességmérését végezze megszakítás nélkül? Távcsövünk egy 1 méter főtükör-átmérőjű Schmidt-rendszerű teleszkóp⁹, a tubus elejére szerelt korrekciós lencse teszi lehetővé a nagy égbolterületek torzításmentes leképezését. (4. ábra)

4. ábra. A Kepler űrtávcső felépítése (A NASA ábrái alapján a szerző szerkesztése)



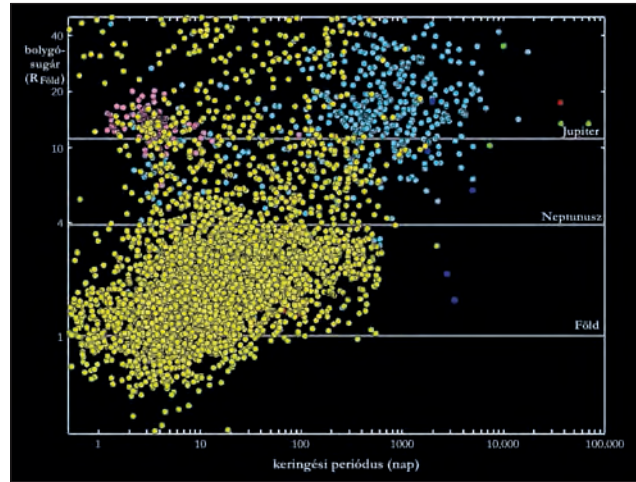


5. ábra. A Kepler teleszkóp görbült fókuszsíkra illeszkedő felületi kialakítású, 42 CCD-ből álló kamerarendszere. A 21 db négyzet mindegyike 2-2 db, szorosan összeillesztett CCD-t tartalmaz, a négy sarokban látható fekete négyzetek pedig 1-1 db, a pontos iránytartást szolgáló (Fine Guide Sensors) érzékelőt tartalmaznak [2]

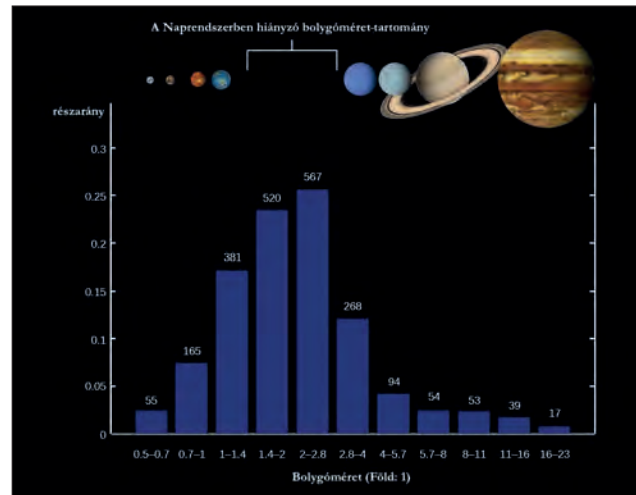
Esetünkben 115 négyzetfokos (kinyújtott tenyérnyi) egyszerre leképezhető területről van szó, amelyet 42 db CCD-ből álló, 100 megapixeles detektorrendszer rögzít a távcsőgyomrában. (4. ábra)

A Mátrában, a CSFK Csillagászati Intézetének Piskés-tetői Observatóriumában, a fentihez nagyon hasonló műszer található 90 cm-es főtükör-átmérővel, és 60 cm-es bemenőnyílással, amelyet az utóbbi években földközeli kisbolygók felfedezésére használnak. A Kepler detektorainak pixelmérete viszonylag nagy, 4 ívmásodperces felbontást eredményezve az égen. Az egyedi expozíciók hosszúsága 6,5 másodperc, amelyből 9-et összeadva 1 perces, 270-et összeadva pedig 30 perces mintavételezésű adatok állnak rendelkezésre a kiválasztott csillagokról. Megfigyelési adatokat a telemetriai kapacitás viszonylagos szűkössége miatt csak előre kiválasztott csillagokra lehetett letölteni (az összes pixel mintegy 5–6%-át). Ezzel a rendszerrel elérhetővé vált a 10^{-5} – 10^{-6} relatív pontosság a csillagászati fényességmérésben, amely 2–3 nagyságrenddel jobb fotometriai mérési pontosságot jelent, mint amely a földfelszínről korábban lehetséges volt. Fontos eredmény a folyamatos megfigyelés lehetősége is, amely a Földről szintén nem kivitelezhető a nappalok és éjszakák váltakozása, valamint a földi időjárás miatt. Az adatgyűjtést csak a 8 órás adatletöltési időszakok és rövid technikai szünetek szakították meg.

A Kepler majdnem napra pontosan négy évig működött (ezt hívjuk a Kepler első missziójának), miközben a nyári Tejút (galaxisunk) csillagokban gazdag vidékének egy jól meghatározott területét monitorozta megszakítás nélkül. Közel 200 000 csillag fényességének időbeli változását rögzítette. Ez alatt az idő alatt a mai napig ismert több mint 5000 exobolygó kétharmadát fedezte fel! Az egyik legfontosabb statisztikai megállapítás, amely a Kepler teleszkóp adatai és a földi adatok elemzése alapján megfogalmazható, hogy szinte minden csillagnak van bolygórendszere. Ezt 25 évvel ezelőtt még nem tudtuk, és idegen bolygórendszerek legfeljebb a sci-fi történetekben léteztek. E sorok írójának véleménye szerint ennek a felfedezésnek a fontossága gondolkodásunk szempontjából megközelítőleg a Kepler-törvényekhez hasonlítható.



6. ábra. Exobolygó-felfedezések 2015-ig. A függőleges tengely a Földhöz viszonyított bolygósugarat mutatja. A vízszintes vonalak a Föld, a Neptunusz és a Jupiter méretét jelzik. A vízszintes tengely a keringési periódust mutatja (a Merkúr keringési ideje 88 nap, a Földé 365 nap, a Jupiteré 12 év, a Neptunuszé 165 év). A rózsaszín a Kepler előtti fedési technikával felfedezett planétákat mutatja, a sárga jelek a Kepler-felfedezéseket ábrázolják. Kék szín jelöli a rádiálissebesség-módszerrel megtalált bolygókat (A [3] alapján a szerző szerkesztése)



7. ábra. A hisztogram a Kepler teleszkóp első 2213 bolygójának méreteloszlását mutatja. A mérettartomány fél Föld-sugártól 23 Föld-sugárig terjed. Figyelemre méltó, hogy az 1–4 Föld sugárral rendelkező bolygók a legnépesebbek a Kepler-populációban, míg saját Naprendszerünkben teljesen hiányoznak ([3] alapján a szerző szerkesztése)

A felfedezett bolygójelölteket további – általában földi nagytávcsöves – megfigyelésekkel lehet megerősíteni. A Kepler fedési bolygók többsége a Föld és a Neptunusz (4-szeres Föld-sugár) közötti mérettartományba esett. (6. ábra) Ilyen méretű bolygót nem is ismerünk a Naprendszerben! (7. ábra)

Annak megállapítása, hogy hol húzódik a kőzetbolygók (szuperföldek) és a gázbolygók (mini Neptunuszok) átmenete, régóta kutatott kérdés. A legfrissebb kutatások 1,6 Föld-sugárhoz teszik ezt a váltást, vagyis az ennél nagyobb bolygóknak nincs szilárd felszínük. Honnan tudjuk, hogy mekkorák ezek a bolygók? A fedés mélységéből a csillag és a bolygó sugarának aránya meghatározható (feltételezve, hogy a csillag sugara pontosan ismert). Ha még



az említett radiális sebességmérésből netán a bolygó tömege is ismert, akkor már átlagsűrűség számolható a planetára, amely sokat elmond a bolygó felépítéséről. A bolygórendszereket és architektúrájukat tekintve hihetetlenül változatos naprendszereket tárt fel a Kepler teleszkóp, több 6–8 bolygót tartalmazó rendszert, igazi „tatuinokat”¹⁰, azaz kettőscsillagok körül keringő planetákat. És ez bizonyos értelemben még csak a jéghegy csúcsa, hiszen a Kepler például legfeljebb 1-2 éves keringési idejű bolygókat észlelt, holott saját Naprendszerünkben is ismerünk ennél sokkal távolabb keringő égitesteket.

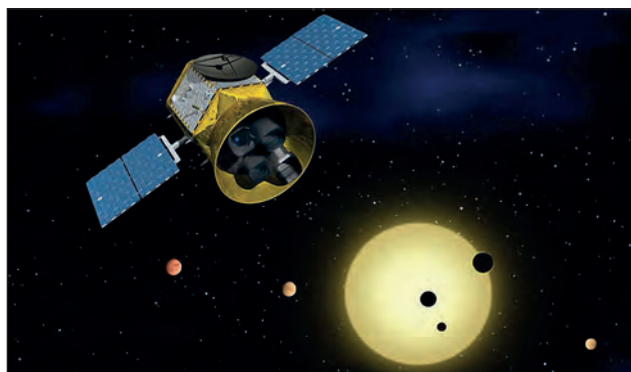
Fontos tudatosítani, hogy a megfigyelések során nem „látjuk” a bolygókat, a Kepler- teleszkóp csupán fénypontokat mért (a csillagok a legtöbb esetben a legnagyobb távcsövekkel is felbonthatatlanul messze vannak), és ennek a fénypontnak (a központi csillagnak) a fényesség-változásait rögzítette minden esetben. Ezek a mérések azonban – nem meglepő módon – a csillagokról is rendkívül sok információt szolgáltatnak. Például a csillagokban különböző okok miatt gerjesztődő rezgések vizsgálatai – hasonlóan a geofizika szeizmológiai módszeréhez – a csillag felépítéséről szolgáltatnak információt. Az extrém pontos fényességmérés révén a jelenlévő rezgések okozta parányi fényességváltozás kimutatható, ezáltal a Kepler űrtávcső a csillagszeizmológia – elméletben már korábban is létező – tudományágának a megfigyelési vonatkozásában is forradalmi áttörést hozott. A Kepler megfigyelései révén az is megállapítást nyert, hogy a Nap kevésbé aktív (kitöréseket, napfoltokat tekintve), mint a hozzá hasonló csillagok.

A Kepler teleszkóp első küldetése technikai problémák miatt megszakadt (a négyből két lendkerék tönkrement, így az iránytartás lehetetlenné vált), és mérnöki bravúrra volt szükség ahhoz, hogy a Kepler a továbbiakban ne használhatatlan roncsként keringjen a Nap körül. A Kepler második missziója (K2) 2018-ig tartott, a Nap látszólagos útja mentén, az ún. ekliptika síkjában figyelt húsz különböző területet, egyenként mintegy 3 hónapig. A hosszabbított küldetés alatt még több exobolygó-felfedezés történt, valamint csillagokkal kapcsolatos, sőt, még a Naprendszer érintő vizsgálatok is folytak. Itt már a NASA megnyitotta a lehetőségét annak, hogy bárki javasolhasson célpontokat, szemben az eredeti küldetéssel, ahol erre nem volt mód.

TESS, A TRÓNKÖVETELŐ

A Kepler teleszkóp utódjának fejlesztését a Massachusetts Institute of Technology-n már jóval annak felbocsátása

8. ábra. A TESS exobolygókereső űrtávcső. Jól látható a négy egyforma távcső, a napelemtáblák és a Ka sávban működő, 100 Mbit/s sebességű adatletöltést lehetővé tévő tányérantenna [4]



előtt megkezdték és a projektet 2008-ban a Google is jelentős tőkével támogatta. A 4 db 10 cm-es lencsével szerelt távcsövet tartalmazó exobolygó-kereső űrtávcső (Transiting Exoplanet Survey Satellite – TESS) 2018 áprilisában indult. (8. ábra).

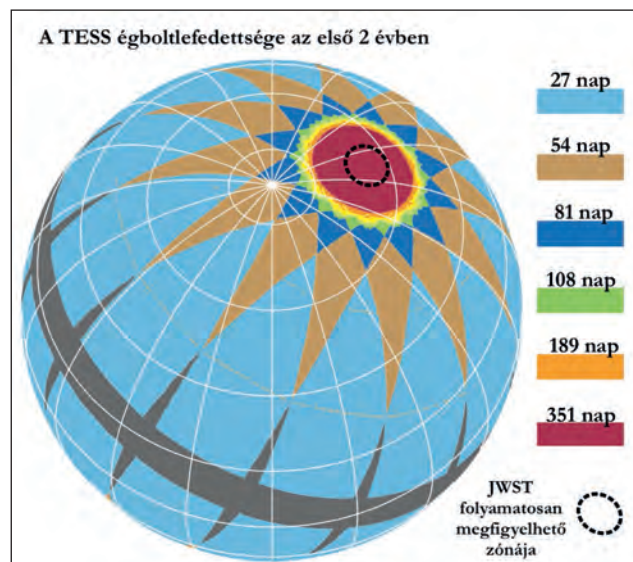
A NASA-misszió az egész égboltra kiterjeszti a bolygókeresést, különösen a legpontosabban megismerhető és karakterizálható, fényes és közeli csillagok körül keringő bolygókra. A négy kamera fénygyűjtő képessége jóval kisebb a Kepler nagy főtükrehez képest, a látómező azonban hússzor akkora, mint a Kepleré. A felbontás majdnem négyszer rosszabb a Keplerénél, ezért a csillagokkal zsúfolt területeken több kiegészítő megfigyelés szükséges ahhoz, hogy eldönthessük, egy adott jel pontosan melyik objektumhoz köthető.

A TESS a déli (ekliptikai) égbolt feltérképezésével kezdte munkáját, amelyet 13 szektorral sikerült lefednie. Minden szektort 27 napig figyelt meg (ezzel a viszonylag rövid keringési idejű bolygókra koncentrálna), némi átfedéssel (egyes objektumok kétszer vagy háromszor, sőt többször 27 napig voltak a látómezőben). A déli ekliptikai pólus körül volt egy olyan zóna is, amelyet egy teljes évig „látott” a TESS, itt így már hosszú keringési idejű bolygók keresése is szóba jöhetett. A második évben az északi ekliptikai pólus következett. (9. ábra)

Ezután a NASA meghosszabbította a küldetést, így a harmadik évben ismét a déli égboltra került sor, majd az északira, és a K2 küldetéssel részben átfedő ekliptikai mezők is sorra kerültek. A 2022 augusztusában kezdődött ötödik évben befejeződik az északi égbolt szkennelése, és újabb déli megfigyeléssorozat kezdődik.

A TESS Föld körüli mozgása nem szokványos, hiszen a Holddal 1:2 rezonanciában lévő, erősen elliptikus, 37°-os inklinációjú, 13,70 nap keringési időt biztosító pályáról van szó, amely különlegesen stabil, ezért az űrtávcső akár 20 évig is működhet, ha a műszaki (valamint a pénzügyi) feltételek rendelkezésre állnak. Egy szektor megfigyelési időtartama két TESS keringési idővel egyezik meg. A Föld megközelítésekor történik az adatok lesugárzása, amely

9. ábra. Az égbolt lefedettsége a TESS égboltfelmérés első két évében. Egyes szektorok 27 napig, mások ennek többszöröséig mérhetők, a vörös zóna, amely egybeesik a James Webb űrtávcső folyamatosan elérhető égbolttartományával, folyamatosan mérhető a TESS-szel is (A [4] alapján a szerző szerkesztése)



108 ezer km-es távolságot jelent, míg a pálya földtávolsági pontja nagyjából a Hold távolságának felel meg (375 000 km).

A Kepler teleszkóp eredeti, négyéves küldetésében a megfigyelési adatok letöltésük után mintegy fél-egy évvel váltak elérhetővé a nyilvánosság számára. Addig csak a Kepler program tudományos csapata dolgozhatott rajtuk, és publikálhatta az első eredményeket. Ezzel szemben a K2 misszióban és a TESS esetében is az adatok egy előzetes feldolgozás után azonnal publikusakká válnak. Tekintve, hogy a célpontok kiválasztásában is nagyobb mozgásteret van a világ összes érdekelt csillagászáának, mint a Kepler első négy évében volt, így a K2 és a TESS igazi közösségi tudományos missziókká alakultak. A TESS e sorok írásáig több mint 200 megerősített, és közel 5500 megerősítésre váró bolygójelöltet figyelt meg. A megerősített exobolygók száma akár többszörösére is nőhet a több időt és erőforrást igénylő kiegészítő megfigyelések révén.

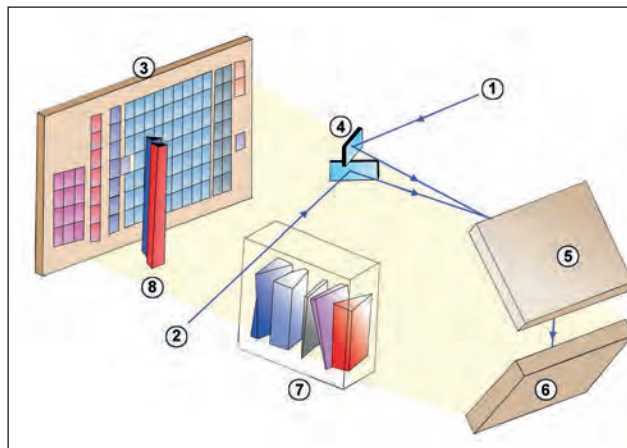
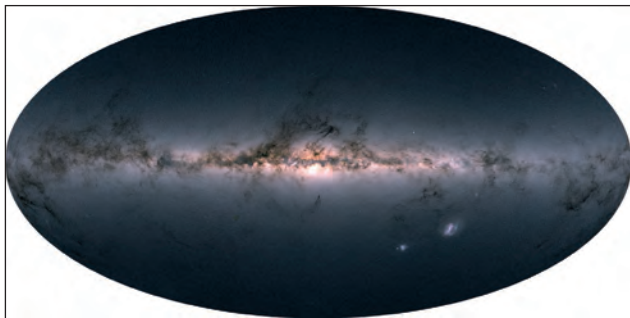
A GAIA ASZTROMETRIAI MŰHOLD

A csillagászatban az egyik legnehezebb feladat az égitestek távolságának meghatározása. Minél messzebb tekintünk, annál inkább közvetett módszerekre vagyunk utalva. A közeli csillagokra azonban létezik egy jól bevált, biztos (egyszerű geometriai) alapon nyugvó, modellfüggetlen módszer, a trigonometrikus parallaxis. A módszer azon alapszik, hogy a közeli csillagok más és más irányban látszanak a távolabbiakhoz képest, ha a Földpálya ellentétes pontjairól nézzük őket. A durván 300 millió km-es különbség már elegendő bázisvonalat biztosít a parallaxis megfigyelésére¹¹. Még a legközelebbi csillag esetén is nagyon parányi elmozdulásról beszélünk: a mindössze 4,26 fényévre levő Proxima Centauri parallaxisa (azaz 6 hónap alatti elmozdulása) 0,7685 ívmásodperc.

Az Európai Űrügynökség (European Space Agency – ESA) 2013 karácsonyán indította a Gaia asztrometriai műholdat, amelynek célja több mint másfél milliárd csillag pontos pozíciójának, mozgásának és a fényesebbek parallaxisának meghatározása, ezáltal galaxisunk kialakulásának és fejlődésének minden eddiginél pontosabb vizsgálata. (10. ábra)

A Gaia elődje, a Hipparcos nevű műhold 1989 és 1993 között működött, és 118 ezer csillag pozícióját határozta meg nagy pontossággal, két és fél millióét pedig valamivel kisebb pontossággal. Pusztán a megfigyelt csillagok számát jellemző több nagyságrendnyi különbség alapján várható volt, hogy forradalmi változást jelent majd a Gaia-mérések megjelenése. Tegyük hozzá, hogy a pozíciómeghatá-

10. ábra. A Tejútrendszer a Gaia 1,8 milliárd megfigyelt egyedi csillaga alapján. Kétmillióen látszanak a spirálgalaxisunkat átszövő sötét porfelhők, jobbra alul pedig a Tejútrendszer kísérőgalaxisai: a Nagy és Kis Magellán-felhők [5]



11. ábra. A Gaia fókuszcsíkja és műszerei. Az űrteleszkóp forgása miatt a csillagok 1 perc alatt végighaladnak a CCD-mozaikon. (1) és (2) a két tükörből beérkező fénynyaláb, (3) fókuszcsík a detektorokkal – asztrometria: világoskék, kék fotométer: sötét kék, vörös fotométer: piros, radiális sebességmérés: rózsaszín (4) a két tükör egyesíti a bejövő nyalábokat, (5) és (6) tükörök, utóbbi vetíti a fókuszcsíkra a fényt, (7) optikai és rácselemek a radiális sebesség méréséhez (alacsony felbontású spektrográf), (8) prizma a kék és vörös fotométer megvilágításához [6]

rozásban is több nagyságrendnyi ugrás következett be, hiszen a Hipparcos pontosság néhány milliívmásodperc (10^{-3} ívmásodperc) volt, a Gaia pedig a mikroívmásodperces (10^{-6} ívmásodperc) pontosságot ostromolja. Ezek alapján nem túlzás azt állítani, hogy a Gaia az egyik legfontosabb asztrofizikai űrmisszióvá vált a 2010-es évek végén, a 2020-as évek elején.

A Gaia két távcsövet alkalmaz, két, egymással $106,5^\circ$ -os szöget bezáró irányból vetíti a csillagok képét ugyanarra a fókuszcsíkra, egy hatalmas (közel 1 gigapixel magába foglaló) CCD-mozaikra, miközben folyamatosan körbe forog. (11. ábra)

A nagyszámú csillag egymáshoz képest lévő relatív pozíciójából egy nagy pontosságú referenciarendszer vezethető le, amelyből abszolút pozíciók határozhatók meg. Egy-egy objektumról 80–200 mérési pont várható. A csillagok leképezett képét azonban nemcsak pozíciómérésre¹² használják: a vörös és a kék színszűrőkkel fényességet is mérnek, illetve kis felbontású spektrum is készül a fényesebb csillagokról, ezáltal ezen objektumok látóirányú sebességvektora is meghatározható. A pozíció és parallaxison (távolságon) kívül, a csillagok éggömbre vetített sajátmozgásán túl a látóirányú sebesség a hatodik mennyiség, amivel teljes mértékben leírható a csillagok helyzete és mozgása. Nagyszámú objektum esetén a galaxis szerkezete és dinamikája is vizsgálható. A fényesség mérésén kívül a spektrum segítségével kémiai összetétel, a csillagok hőmérséklete, színe, tömege, kora is származtatható, és bár vannak pontosabb módszerek is, de ennyi csillagra homogén módon még soha nem sikerült meghatározni ezeket az állapotjelzőket.

A Gaia szintén az L_2 pontban működik, hogy zavartalanul és megszakításmentesen végezhesse megfigyeléseit. A mai napig közel kétmilliárd csillagról, galaxisunk csillagaiknak 1%-áról továbbított pontos pozíció- és sebességméréseket, emellett több százezer kisbolygót és több millió galaxist is megfigyelt. Ahogy említettük, ezáltal kirajzolódik galaxisunk kialakulásának története. Például olyan kérdések váltak vizsgálhatóvá, hogy mely csillagok közelítették meg a Naprendszert az elmúlt néhány millió évben, vagy



melyek fogják ezután? Melyek azok a csillagok, amelyek elég nagy sebességre tettek szert, hogy elhagyják a Tejútrendszert (például a Galaxis középpontjában található 4 millió naptömegnyi fekete lyukkal történt gravitációs interakció nyomán)? Sikerült kimérni a Nagy Magellán-felhő – az egyik legközelebbi extragalaxis – forgását is az egyedi csillagok mozgása alapján. Tejútrendszerünk tízmilliárd évvel ezelőtt egy kisebb galaxist olvasztott magába, amelynek csillagai mozgásuk alapján szépen elkülöníthetők a saját galaxisunk csillagaitól. De más törpegalaxisok beolvadása, és az általuk okozott zavarok nyomai is kirajzolódnak az adatokból. A Gaia egyedülálló képességekkel rendelkezik még fizikailag összetartozó csillagok, csillaghalmazok azonosításában, kettőscsillagok, csillagkísérők kimutatásában, de akár bolygó méretű társobjektum felfedezése is várható a csillag „kóválygó” mozgását megfigyelve. Ezen kívül a Gaia, a kisszámú fotometriai megfigyelés ellenére, fedési exobolygókat is talált.

A Gaia minden idők egyik legfontosabb csillagászati űrtávcsöve, hiszen rengeteg csillag alapadatainak homogén adatbázisát szolgáltatta, de a csillagászati koordinátarendszerek alappontjának meghatározásában is szerepet játszik. A Gaia harmadik adatkibocsátása (Gaia Data Release 3) 2022 júniusában történt. A 34 hónapnyi megfigyelési adat-tömeg részletes kiaknázása és az eredmények publikálása jelenleg is folyamatban van.

HUBBLE, AZ ŰRCSILLAGÁSZAT SVÁJCI BICSKÁJA

A Hubble űrtávcsövet¹³ (Hubble Space Telescope – HST) 1990-ben bocsátották Föld körüli pályájára a Discovery űrsikló rakteréből, és mind a mai napig működik. Ebben szerepet játszik az is, hogy szervizelhetőre tervezték, így amerikai űrhajósok immár öt alkalommal javították, hibás, vagy elavult alkatrészeit kicserélték. Ez természetesen csakis alacsony Föld körüli pályán volt lehetséges, hiszen a Hubble pályája 540 km-re halad a Föld felszínétől, keringési ideje 95,42 perc. A Hubble űrtávcsövet szinte mindenki ismeri, hiszen már annak indulása sem sok jóval kecsesített. A távcső 2,4 méteres főtükreét nagy pontossággal (~10 m²) ugyan, de hibás alakúra csiszolták, ezért a Hubble első képei elmosódottak voltak. Kiderült, hogy egy ellenőrzési hiba miatt a tükör széleit túl laposra csiszolták, ezért a szférikus aberráció nevű optikai hiba miatt a tükör külső és belső részei más és más fókuszponttal rendelkeztek. Szerencsére az első szervizmisszió alkalmával egy korrekciós optikai elemet („szemüveg”) installálva a Hubble visszakarta „éles látását”.

Űrbe helyezendő távcsövekről már az 1920-as években is volt szó, pl. a modern rakéatechnika egyik atyjának nevezett Hermann Oberth írt róla, komolyan azonban az 1960-as években kezdtek el foglalkozni a kérdéssel. A Hubble építése a NASA és az ESA együttműködésében az 1970-es években kezdődött, de a felbocsátás különböző technikai és finanszírozási problémák miatt – nem utolsósorban a Challenger 1986-os katasztrófája nyomán – sok év késést szenvedett, végül 1990 április 24-én történt meg. A Hubble a NASA „Nagy obszervatóriumainak” egyike, ide tartoznak még a Compton gamma obszervatórium (1991–2000), a Chandra röntgenobszervatórium (1999–), és az infravörös tartományban működött Spitzer űrtávcső (2003–2020).

A Hubble az ultraibolya látható és infravörös tartományokban is „lát”. Legelső műszerei közé tartozott egy nagy látószögű és bolygókamera, egy ultraibolya tartományban üzemelő nagy felbontású spektrográf, egy gyorsfotométer,

egy halvány objektumokat megörökítő kamera, illetve egy halvány objektumok spektrumát rögzítő spektrográf. Ezen felül a teleszkóp iránytartását segítő kamera (Fine Guidance Sensor) is használható tudományos mérésekre. A gyorsfotométer helyére az említett korrekciós optika került, és az összes többi műszert is lecserélték az űrhajós szervizküldetések során. Mivel az egyszerre használható műszerek száma korlátozott, néhány műszert hibernáltak, amelyeket a tervek szerint más műszerek esetleges meghibásodásakor hoznak majd működésbe. A jelenleg a fókuszsíkban működő megfigyelő eszközök az alábbiak: egy harmadik generációs, fejlett képrögzítő kamera (Advanced Camera for Surveys – ACS), az elsősorban galaxisok és galaxishalmazok vizsgálatára tervezett, ultraibolya tartományban működő Cosmic Origins Spectrograph (COS), egy különleges, leképezést és spektrumok készítését is lehetővé tevő spektrográf (Space Telescope Imaging Spectrograph), és a fejlett, szintén harmadik generációs, látható és infravörös hullámhosszokon is működő Wide Field Camera 3 nevű leképező eszköz. Látható, hogy a Hubble-t a sokoldalúság jellemzi, hiszen az elmúlt 32 év során a legközelebbitől az ismert legtávolabbi objektumokig mindent vizsgáltak vele: a Naprendszer bolygóitól, üstököseitől, kisbolygóitól a közeli és távoli csillagokon, csillagkeletkezési területeken, egyéb galaktikus objektumokon túl közelebbi és távoli galaxisokat, galaxishalmazokat, szupernóvákat (azaz robbanó csillagokat), és még sok minden mást.

A Hubble tehát tipikus „obszervatórium” jellegű űreszköz, szemben a „survey” jellegű távcsövekkel. Előbbi azt jelenti, hogy többféle műszerrel nagyon sokféle megfigyelés elvégezhető, tipikusan pályázni kell a távcsőidőre, és nincs előre meghatározott célpontlista. Az utóbbi csoportba tartozó eszközöknél, mint amilyen a Kepler teleszkóp első küldetése és a Gaia is, egy jól meghatározott feladat érdekében az egész égboltot (Gaia) vagy annak egy szeletét (Kepler) figyeli (adott esetben végigpásztazza) az eszköz. Ezen égboltfelmérő eszközöknél minden célpont érdekes, amely az eszköz látómezejébe kerül. A felférő üzemmód tipikusan statisztikai vizsgálatokra és ritka objektumok felfedezésére is alkalmas, míg az „obszervatóriumok” általában egyes objektumok alaposabb vizsgálatát célozzák. A teljesség igénye nélkül a Hubble-űrtávcső legfontosabb tudományos eredményei:

- Az univerzum korának és tágulási sebességének meghatározása. Ehhez a Hubble több extragalaktikus szupernóvát és pulzáló változócsillagot (cefeidát) figyelt meg. Ezen objektumok abszolút fényessége ismert, és látszó fényességükből kiszámolható az univerzum tágulási sebességét jellemző Hubble-állandó.
- Galaxisok középpontjában található szupernagy tömegű fekete lyukak létének megerősítése és jellemzőinek tanulmányozása.
- A hosszú gammakitörések eredetének megállapítása. A Hubble mérései alapján kiderült, hogy ezek a nagy energiájú események nagy tömegű csillagok robbanása során jönnek létre.
- 1994-ben a Shoemaker-Levy 9 üstökös darabjai becsapódtak a Jupiterbe. Az eseményről a Hubble készítette a legrészletesebb felvételeket.
- A Hubble űrteleszkóp a fiatal csillagokat körülvevő bolygókeletkezési korongok direkt megfigyelése révén a csillag- és bolygókeletkezésről is tájékozta ismereteinket.
- A „Hubble Deep Field” révén egy csillagoktól mentes területen több napon keresztül exponálva a Hubble több ezer galaxis képét rögzítette, köztük nagyon fiatal



12. ábra. A Hubble által készített ultramély felvétel. A képen látható objektumok túlnyomó többsége távoli galaxis és galaxiskezdemény. Összesen mintegy 10 ezer galaxis látható a képen, a legtávolabbiakat tekintve mintegy 13 milliárd évvel nézünk vissza az időben [7]

galaxiskezdeményekét, és rekordtávolságú galaxisokat is. Ezt a felvételt többször megismételték, és így az a kozmológiai vizsgálatok sarokkövévé vált. (12. ábra)

- A sötét energia és a sötét anyag kutatása is előkelő helyen szerepelt a Hubble tudományos programjában. Előbbi az univerzum gyorsuló tágulásáért felel, míg az utóbbi gravitációs hatással bír, de mindmáig nem értett „sötét”, valószínűleg (elemi) részecskék formájá-

13. ábra. A Teremtés oszlopai néven elhíresült Hubble-felvétel, amely a Sas-köd egy részletét mutatja. A por- és molekuláris hidrogénfelhőkből tornyosuló oszlopok csillagkeletkezési helyszínek, „csillagbölcsők” [8]



ban jelen lévő anyag, amely megmutatkozik például a galaxisok és galaxis-halmazok dinamikájában.

A Hubble népszerűségét ikonikus képeinek (13. ábra), kulturális hatásának éppúgy köszönheti, mint az eredmények professzionális tálalására biztosított forrásoknak.

Sokan nem tudják, hogy a színszűrőkkel készített szűr-keszkálás képekből professzionális csapat állított elő olyan színes fényképeket, amelyek színvilágukkal megragadók, esztétikusak és a lehető legnagyobb hatást érik el. Néha olyan objektumokra is biztosítottak távcsődöt, amelyekről csak néhány színszűrővel készült kép a tudományos mérésekhez, és ez nem lett volna elég a színes képek összeállításához. Soha űreszköznek ekkora hatása nem volt az emberek képzeletére és az űrhöz való viszonyára. Talán csak magának a Holdra szállásnak a jelentősége mérhető hozzá.

JAMES WEBB ŰRTELESZKÓP, AZ ŰRTÁVCSÖVEK FERRARIJA

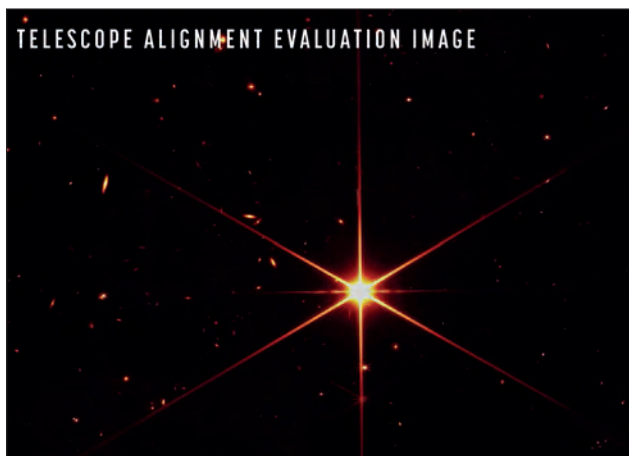
A több szempontból a Hubble utódjának szánt, infravörös tartományban üzemelő James Webb űrteleszkóp (JWST) indításáról már közöltünk egy rövid beszámolót a Hadi-technika folyóirat 2022/3. számában. Ezért az ott leírtakat nem ismételjük meg, inkább egyfajta állapotjelentést közlünk 2022. július legelejéről. A James Webb szintén „obszervatórium” jellegű üzemben fog működni. Műszerei:

- Near-Infrared Camera (NIRCam): az amerikai fejlesztésű kamera a legtávolabbi galaxisoktól a Naprendszer külső szélén keringő, kis méretű objektumokig használható általános képalkotó berendezés. Különlegessége, hogy koronográffal is felszerelték, amely fényes égitestek közelében található halvány objektumok detektálására alkalmas a központi égitest fényének kitakarásával. Ilyenek például a távoli csillagok körül keringő exobolygók is.
- Near-Infrared Spectrograph (NIRSpec): az egyedülálló műszer száz objektum egyidejű spektroszkópiáját teszi lehetővé. A legtávolabbi (és egyben legfiatalabb) galaxisok fényének begyűjtéséhez összesen több száz órán keresztül kell majd exponálnia.
- Mid-Infrared Instrument (MIRI): európai vezetéssel készült, az egyetlen közép-infravörös tartományban (5–28 mikrométeres hullámhossz-tartományban) is működő JWST-műszer. A távoli galaxisoktól formálódó csillagokon keresztül halvány üstökösökig, különböző objektumokat fog megörökíteni. A James Webbtől legalább olyan látványos képeket várunk, mint amelyeket a Hubble készített.
- Fine Guidance Sensor/Near InfraRed Imager and Slitless Spectrograph: a Kanadai Űrügynökség hozzájárulása a misszióhoz. A Fine Guidance Sensor az űreszköz célra tartását segíti, míg a műszerhez tartozó kamerát és a rés nélküli spektrográft elsősorban exobolygók tanulmányozására fogják használni.

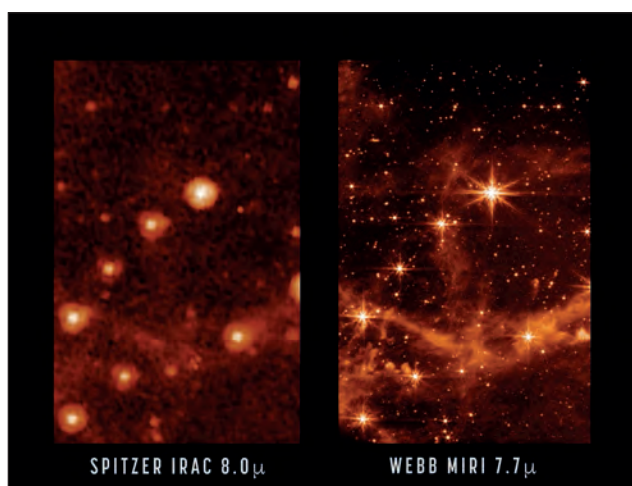
A James Webb már elérte az L_2 pontot, a távcső minden alkotóeleme kinyílt, és helyére került. A tükörszegmenseket beállították (szakszóval jusztírozták), így tüéles képet alkotnak. (14. ábra)

A beüzemelés során egy mikrometeoroid ütése rázta meg a távcsövet. A mérések azt mutatják, hogy egyetlen tükörszegmenst talált el, amely várhatóan nem fogja észrevehetően befolyásolni a teleszkóp teljesítményét. A távcső és a műszerek lehűltek az üzemi hőmérsékletükre, a tudományos műszerek készen állnak a bevetésre, az előzetes információk szerint minden műszer nominálisan, a terve-





14. ábra. A James Webb űrtávcső tökéletes képalkotását demonstráló foto [9]



15. ábra. A 80 cm-es főtükrű Spitzer és a 6,5 méteres főtükrű James Webb képalkotásának összehasonlítása. Mindkét felvétel ugyanazt az égbolterületet mutatja, a James Webb tesztüzeműben készült felvétele látványosan jobb felbontású és sokkal élesebb [10]

zettek megfelelően (vagy jobban!) működik. Mindezt sok-sok teszt és kalibrációs mérés után jelenthetjük ki. Ezek már sejtetni engedik az új űrteleszkóp (1. és 15. ábra) hihetetlen teljesítményét. Jelen sorok írásakor már nyilvánosak az első demonstrációs célú, tudományos minőségű képek, amelyeket a NASA tett közzé.

ÖSSZEFOGLALÁS

A bevezetőben említett, űrtávcsövekkel kapcsolatos hírbőséget Magyarországon még egy tényező fokozza, ez pedig a hazai szakemberek részvétele a küldetések tudományos, vagy éppen a mérnöki feladataiban, a nemzetközi együttműködésekben. A Kepler/K2/TESS missziókban magyar csillagászok munkacsoportot vezetnek, valamint részt vettek a TESS előzetes adatfeldolgozó szoftverének fejlesztésében. A Gaia-ban az adatfeldolgozó és klasszifikáló munkacsoportokba kapcsolódtak be. Az elmúlt években több Hubble űrtávcsöves mérésben is részt vettünk, ilyen például az üstökösök magjának megfigyelése. A James Webb űrtávcső igénybevétele pedig több távcsövidő-pályázatunk is nyert: egy saját vezetésű, több pedig nagyobb

nemzetközi konzorciumban. Mindemellett a MIRI nevű műszer elektronikai fejlesztéséért felelős Detre Örs mérnök, aki az űrtávcsőirás beüzemelési periódusában a Magyarország – Németország – Egyesült Államok háromszögben ingázott.

A bemutatott, űrbe telepített csillagászati eszközök utódai már a tervezőasztalon, és az űripari vállalatok gyártóüzemeiben vannak. A Kepler/K2 és a TESS bolygókereső távcsövek munkáját az Európai Űrügynökség PLATO [11] küldetése várhatóan 2026-27-től veszi át, szintén magyar részvétel mellett. Nemrégiben Kína is bejelentkezett egy „szuper Kepler” űrtávcső-konceptióval, amit egyszerűen csak Earth 2.0-nak neveztek el [12]. Az Egyesült Államok szakemberei az eddigieknél is nagyobb, leginkább exobolygók részletes analizését lehetővé tevő távcsövek megalkotásán gondolkodnak [13]. Akárhogyan is alakul ennek az izgalmas tudományterületnek a jövője, a már működő eszközök nagy mértékben hozzájárultak az univerzumról szerzett ismereteinkhez, a megszerzett tudás pedig további vizsgálatokat és űrbe telepített újabb csillagászati távcsöveket igényel.

HIVATKOZT IRODALOM

- [1] NASA – WFIRST Project és Dominic Benford https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wfirst_beauty1_prores_1920x1080.mov_00_00_17_16.still003_crop.jpg (Letöltve: 2022.07.04.);
- [2] NASA és Ball Aerospace http://www.nasa.gov/mission_pages/kepler/multimedia/images/kepler-focal-plane-assembly.html (Letöltve: 2022.07.04.);
- [3] NASA/Kepler mission https://www.nasa.gov/mission_pages/kepler/main/index.html (Letöltve: 2022.07.04.);
- [4] NASA TESS <https://www.nasa.gov/tess-transiting-exoplanet-survey-satellite> (Letöltve: 2022.07.04.);
- [5] ESA/Gaia/DPAC https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2018/04/Gaia_s_sky_in_colour (Letöltve: 2022.07.04.);
- [6] Forrás: Wikipedia/Pline [https://en.wikipedia.org/wiki/Gaia_\(spacecraft\)#cite_note-focalplane-36](https://en.wikipedia.org/wiki/Gaia_(spacecraft)#cite_note-focalplane-36) (Letöltve: 2022.07.04.);
- [7] Flickr account for NASA's James Webb Space Telescope <https://www.flickr.com/photos/nasawebbtelescope/albums/72177720300469752> (Letöltve: 2022.07.04.);
- [8] NASA/ESA/Hubble Heritage Team (STScI/AURA) /J. Hester, P. Scowen (Arizona State U.) https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2015/07jan_pillarsofcreation (Letöltve: 2022.07.04.);
- [9] NASA/STScI <https://universemagazine.com/en/the-key-stage-of-james-webbs-mirror-alignment-has-been-completed/> (Letöltve: 2022.07.04.);
- [10] NASA/JPL-Caltech /Spitzer/, NASA/ESA/CSA/STScI /James Webb/ <https://globalnews.ca/news/8823501/james-webb-space-telescope-new-images-large-magellanic-cloud/> (Letöltve: 2022.07.04.);
- [11] Rauer, H., Catala, C., Aerts, C. és mtsai: *The PLATO Mission*, *Experimental Astronomy* 38. 2014. pp. 249-330.;
- [12] Ge, J., Zhang, H., Zang, W. és mtsai: *ET White Paper: To Find the First Earth 2.0*, arXiv:2206.06693, 2022. DOI:10.48550/arXiv.2206.06693;
- [13] <https://www.nationalacademies.org/our-work/decadal-survey-on-astronomy-and-astrophysics-2020-astro2020> (Letöltve: 2022.07.04.).

JEGYZETEK

- 1 Nancy Grace Roman (1925. május 16. – 2018. december 25.) amerikai csillagász, a NASA csillagászatért felelős vezetője az 1960-as és '70-es években. A „Hubble édesanyjának” is neveztek, hiszen nevéhez fűződött a NASA csillagászati űrprogramjának kidolgozása. Aktív ismeretterjesztő, és a nők szerepének fontosságát hangsúlyozó kutató volt, a tervezett WFIRST teleszkópot 2020. május 20-án nevezték el róla Nancy Roman Grace űrtávcsőnek.
- 2 A Lagrange-pont a csillagászatban a tér azon pontja, amelyben egy kis test két nagyobb test együttes gravitációs vonzásának hatására azokhoz képest közelítőleg nyugalomban maradhat. Joseph-Louis Lagrange (Toríno, 1736. január 25. – Párizs, 1813. április 10.) itáliai születésű francia matematikus, a matematikai analízis és az égitestek mechanikája területén elért eredményeiről híres. Az ilyen pontok létezését ő vezette le 1772-ben.
- 3 A 2017. évi fizikai Nobel-díj felét Rainer Weiss, míg a másik felét megosztva Barry C. Barish és Kip Thorne amerikai fizikusok kapták. Mindhárman a LIGO/Virgo gravitációs hullámdetektor-konzorcium tagjai, akik elévülhetetlen érdemeket szereztek a gravitációs hullámok elméleti vizsgálataiban és a felfedezést lehetővé tévő detektor évtizedekig tartó megépítésében.
- 4 William J. Borucki (1939. Chicago, USA –) űrtudós, 1962-ben csatlakozott a NASA-hoz és az Ames Kutatóközpontban dolgozva megtervezte az Apollo-program űrhajóinak hővédő pajzsát. Később a villámítás természetét tanulmányozta műholdak segítségével, majd a Naprendszeren kívüli bolygók tranzit módszerrel történő észleléséhez szükséges fotométerek kifejlesztésén dolgozott. (A szerk.)
- 5 A tranzit szó a bolygó áthaladására utal a csillag korongja előtt.
- 6 2019-ben Michel Mayor és Didier Queloz svájci csillagászok megosztva kapták a fizikai Nobel-díj felét az első extraszoláris bolygó felfedezéséért, míg a díj másik felét James Peebles amerikai fizikusnak ítelték korszakalkotó elméleti kozmológiai vizsgálatairért.
- 7 Johannes Kepler (1571. december 27. – 1630. november 15.) német matematikus és csillagász. Nevéhez fűződik a Mars bolygó pályájának pontos meghatározása, és a bolygómozgás törvényeinek felfedezése.
- 8 Cape Canaveral ad otthont a NASA John F. Kennedy Space Centernek, rövidítve (KSC) amely a NASA egyik legfontosabb űrközpontja Florida államban. (A szerk.)
- 9 A Schmidt-távcsövek kifejezetten fotografikus megfigyelésekre és égboltfelmérésekre készülnek, ugyanis látszólag ellentmondásos tulajdonságot egyesítenek: az igen fényerős műszer nagy látómező mellett ad hibátlan leképezést. Természetesen ennek megvan az ára: a fókuszfelület görbült, és a tubus belsejében helyezkedik el, továbbá a gömb fóttükör mellett szükséges egy speciális felülettel rendelkező korrekciós lemez alkalmazása is. (A szerk.)
- 10 A szerző utalása a Csillagok háborúja (Star Wars) fiktív univerzumában létező Tatuin (angolul Tatooine) bolygóra, amelynek két napja van, a Tatu 1 és Tatu 2, amelyek egymástól nem túl nagy távolságra keringenek egymás körül, így fizikai kettőscsillag-rendszert alkotnak. (A szerk.)
- 11 Az emberi szem is hasonlóan lát térben: a bal és jobb szemünk kissé eltérően látja az előttünk lévő tárgyakat, vagyis itt a bázisvonal a két szemünk távolsága.
- 12 Asztrometria: a legősibb csillagászati mérés, hiszen a távcső előtti időben csak a csillagok pozícióját tudták meghatározni.
- 13 Edwin Powell Hubble (Marshfield, Missouri, 1889. november 20. – San Marino, Kalifornia, 1953. szeptember 28.) amerikai csillagász, felfedezte, hogy a galaxisok nem a Tejútrendszer részei, valamint felfedezte a kozmikus vöröseltolódást. Az elsők között értelt emellett, hogy a távoli galaxisok vöröseltolódását a világegyetem tágulása okozza.

Két jóbarát – Dwa bratanki Kézzelfogható hadtörténelem

Lengyel, magyar – két jó barát a kezdősora annak a rímbe szedett közmondásnak („Polak, Węgień, dwa bratanki, i do szabli, i do szklanki” – „Lengyel, magyar – két jó barát, együtt harcol, s issza borát”), amelyet Lengyelországban és Magyarországon csaknem mindenki ismer, és amely a két nép történelmi barátságát példázza. A Zrínyi Kiadó által gondozott Kézzelfogható hadtörténelem című sorozat nyolcadiként megjelent dobozkönyve – dr. Ravasz István szerkesztésében – a két nép ezeréves barátságának egyetlen szeletét, az 1914 és 1914 közötti időszakot eleveníti fel.

A Galícia közepén található Przemysl az Osztrák–Magyar Monarchia legfontosabb erőrendszere. Az orosz haderő 1914 őszén visszavonulásra készítette az addig sikeresen harcoló osztrák–magyar 3. és 4. hadsereg csapatait. A visszavonulási hullám szeptember 13-án érte el Przemyslt, akkor került a városba a magyar királyi szegedi 23. honvéd gyaloghadosztály, amely a védősereg gerince lett. A különleges, magyar–lengyel kétnyelvű kötet számos archív fotó és mellékleteként közre adott, kézbe vehető dokumentummásolat segítségével érzékletesen mutatja be Przemysl mindennapjait. Az érdeklődők hírt kapnak a korabeli ellátási viszonyokról, a nehézségekről és a nélkülözésekről, valamint az egészségügyi viszonyokról. Ez utóbbit jól jellemzi, hogy a vár kórházaiban eredetileg 8000 férőhely volt, amelyet előbb 12 000-re, majd 25 000-re emeltek.

Lengyelország 123 év elteltével, 1918-ban nyerte vissza függetlenségét, de határait még hónapokig nem sikerült véglegesítenie. A folyamatos konfliktusok közül a szovjet támadás bizonyult a legerőteljesebbnek. Az összetűzés elkerülhetetlen volt. 1920 augusztusában, két hónappal a trianoni döntés után Magyarország egyetlen európai országgént sietett Lengyelország segítségére. A magyar lőszer- és fegyverszállítmány hozzájárult a lengyel hadsereg győzelméhez; a varsói csatában győzelmet tudtak aratni Szovjet-Oroszország felett.

1939-től ismét összefonódott a két nép történelme, amikor Magyarország nagy létszámban fogadott be hazájukból elmenekült lengyel polgári és katonai személyeket. A katonák jelentős mennyiségű hadianyaggal (repülőgépekkel, gépjárművekkel, tüzérségi anyagokkal és fegyverzettel) érkeztek hazánkba.

A magyar–lengyel kétnyelvű kiadvány 175 fotóval, számos térképpel és 34 korhű dokumentum faksimile másolatával, 68 oldalon ismerteti az első és második világháborús lengyel–magyar katonai kapcsolatok alakulását. 13 900 Ft-os áron kapható a könyvesboltokban, illetve megvásárolható közvetlenül a Zrínyi Kiadónál 30% helyszíni kedvezménnyel 9730 Ft-ért. Cím: 1024 Budapest, Fillér utca 14. (tel.: 06 1-459-5373, e-mail: cinti@hmzrinyi.hu), valamint a Zrínyi Kiadó webshopjában is (<https://shop.hmzrinyi.hu/>), szintén 30% kedvezménnyel. (R. A.)



A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei

I. rész

A 3D-s NYOMTATÁS ELŐZMÉNYEI

A 3D-s nyomtatás fejlesztése az 1980-as évek elején kezdődött. Elterjedése az ezredforduló után gyorsult fel a polgári gyártástechnológiában. A 3D-s nyomtatás fejlett, az Ipar 4.0-hoz¹ kapcsolódó gyártástechnológia. Ezen belül a fémnyomtatás napjainkban találta meg helyét az iparban, a hadiiparban és a katonai logisztika, a haditechnikai eszközök üzemben tartása területén.

A 3D-s nyomtatás kezdetben a gyors prototípusgyártás révén nyert teret az iparban, de napjainkban már a kis sorozatoknál a sorozatgyártásban is egyre gyakrabban alkalmazott technológia. Egyelőre a polimer alapú eljárások az elterjedtebbek, de a növekvő igény következtében kezd teret hódítani a fém alapanyagú gyors prototípusgyártás, illetve sorozatgyártás is. Ezen eljárások közös ismérve, hogy a bonyolult, a 3D-s modelleket rétegről rétegre építik fel az adott modell szeletelésével, és a vékony, az alkalmazott technológiától függő kb. 0,02–0,15 mm vastagságú szeletek (rétegek) egymásra építésével.

A fém 3D-s nyomtatás alkalmazásával bonyolult geometriák, csatornák és furatrendszerek, összetett szerkezetű rács szerkezetek alakíthatók ki, illetve bennszülött alkatrészek², összetett geometriák. Míg a hagyományos (szubtraktív³) eljárások alkalmazása mellett az ilyen formák csak több alkatrészből állíthatók össze, addig a 3D-s nyomtatással ez egyetlen munkafolyamat, amely a komplex geometriájú alkatrészek gyártása terén komoly előny. Mivel a technológia lehetővé teszi, hogy csak a teherviselő részeket alakítsák ki, és nem maradnak eltávolíthatatlan részek, alkalmazása a gépelemek fajlagos tömegének csökkenéséhez vezethet, amely a repülőipari alkalmazás területén kiemelten fontos. A technológia szélesebb körű elterjedésének korlátai egyelőre a magas fajlagos költségek és egyes, a termékek szilárdságával kapcsolatos problé-

mák. A hagyományos anyagelvételes megmunkálási eljárásokkal nagy tételben viszonylag gyorsan és olcsón állítható elő sokféle alkatrész, a kutatás-fejlesztés során azonban egy-egy prototípus 3D-s nyomtatásos előállítására mégis olcsóbb lehet, mivel nem szükséges hozzá drága megmunkológépek alkalmazása (öttegelyes CNC-megmunkálóközpont programozása, felszerszámozása stb.). A 3D-s nyomtatás ipari kivitelű berendezéseit ma már közvetlen gyártásban is felhasználják. Ekkor additív gyártásról (Additive Manufacturing-ről)⁴ beszélünk.

Jelen tanulmány kitékint a katonai alkalmazás lehetőségeire is, amelyek elsősorban a harctéri katonai logisztika területén lehetnek jelentősek. Vizsgálja, hogy milyen esetekben válthatók ki a hagyományos megmunkálási (és szerszám-, vagy öntőformagyártási) technológiák ipari 3D-s nyomtatással.

A 3D-s NYOMTATÁS, MINT GYÁRTÁSTECHNOLÓGIA POLGÁRI ÉS KATONAI ALKALMAZÁSA

A 3D-s NYOMTATÁS LEHETŐSÉGEI A POLGÁRI IPARBAN

A 3D nyomtató digitális (3D-s CAD⁵) modellekből *műanyag* vagy *fém* termékek, gépelemek gyártására alkalmas eszköz. A 3D-s nyomtatás *additív gyártástechnológiai eljárás*, vékony rétegek lefektetésével készít alkatrészeket, termékeket. A 3D-s nyomtatók lehetővé teszik termékfejlesztő csoportok számára, hogy asztali méretű berendezésekkel tudjanak *prototípus alkatrészeket* készíteni a gyors prototípusgyártás (Rapid Prototyping – RP) során.

A prototípusgyártáson kívül a 3D-s nyomtatás már jelenleg is széles körben alkalmazott végtermékek előállítására néhány speciális területen:

ÖSSZEFOGLALÁS: A cikk ismerteti a 3D-s nyomtatás – mint additív gyártástechnológia – alkalmazási lehetőségeit, különös tekintettel az olyan területekre, mint a 3D-s fémnyomtatás és a szálerepítéses műanyag nyomtatás. Napjainkban e technológia a prototípusgyártás mellett fokozott szerephez jut az összetett geometriájú alkatrészek, komplex rács szerkezetek, alkatrészen belüli rétegelt (szendvics-) szerkezetek gyártásában, amellyel a szerkezeti elemek fajlagos tömegcsökkentése érhető el. Az additív gyártástechnológia – a harctéri alkatrészellátás egyik módszereként – szerepet kaphat a katonai logisztika folyamataiban is. A Magyar Honvédség számára a NATO és az EDA (Európai Védelmi Ügynökség) javaslatai, illetve a 2021. évi NKS (Nemzeti Katonai Stratégia) egyaránt előíranyozzák a 3D-s nyomtatás fejlesztését.

KULCSSZAVAK: 3D-s fémnyomtatás, 3D-s nyomtatás, additív gyártástechnológia, prototípusgyártás, összetett geometria gyártása

ABSTRACT: The article describes the application possibilities of 3D printing - as an additive manufacturing technology - with particular attention to areas such as 3D metal printing and fiber reinforced plastic printing. Nowadays, in addition to prototype production, this technology plays important role in the production of complex geometry components, complex grid structures, and sandwich structures within components, which can be used to reduce the mass of structural elements. Additive manufacturing technology - as one of the methods of supplying parts on the battlefield - can also play a role in the processes of military logistics. Regarding to the Hungarian Defense Forces, the proposals of NATO and the EDA (European Defense Agency) and the 2021 National Military Strategy prewise development of 3D printing.

KEY WORDS: 3D metal printing, 3D printing, Additive manufacturing, Fast prototyping, Production of complex geometry structures

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

** Mk. alezredes, PhD, NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Haditechnikai Tanszék, adjunktus ORCID: 0000-0001-8457-5044

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

- az orvosi felhasználás területén (sebészeti, fogtechnikai implantátumok) mivel ott minden gyártmány a betegre szabottan egyedi, így sorozatgyártásra eddig sem volt lehetőség, a 3D-s nyomtatás révén azonban kiváltható a fáradságos és drága kézi megmunkálás;
- a repülőiparban a tömegcsökkenés, illetve minőségbiztosítási okok miatt, ugyanis a 3D-s nyomtatott alkatrészekkel elkerülhető sok hagyományos gyártású alkatrész összeillesztése;
- a logisztika egyes területein:
 - elavult technológiájú, kifutott típusok pótalkatrész-utánpótlása, ahol már nem gyártanak és nem forgalmaznak pótalkatrészt egy adott típushoz,
 - „digitális raktárkészlet” alkalmazásának lehetősége a kis tételben előállítandó és/vagy komplex geometriájú alkatrészek esetében. Ennél a technológiánál csak az alkatrész gyártási dokumentációját tárolják elektronikusan a cégnél (digitális raktár), és igény esetén nyomtatják az alkatrészt.

A gyártásrentabilitás korlátai: a hagyományos gyártási eljárások (például a fröccsöntés) polimer alkatrészek tömeggyártása esetén általában olcsóbbak, de kis darabszám esetén az additív gyártás gyorsabb, rugalmasabb és olcsóbb. Milliós darabszámnál a 3D-s műanyag nyomtatás



1. ábra. Összetett geometriájú 3D-s fémmnyomtatott hőcserélő [8]

2. ábra. Hagományos és 3D-s fémmnyomtatott repülőgépalkatrész [9]



nem lehet a fröccsöntés vetélytársa, de egyedi és kis sorozatú gyártás esetében napjainkban már versenyképes.

A fémmnyomtatás előnye bonyolult geometriánál: például olyan gázturbina üzemanyag-befecskendező elemet nyomtattak ki, amelynek bonyolult belső furatrendszerét más technológiával csak igen nehezen, vagy egyáltalán nem lehetett volna legyártani hőálló acélból. Az eredmény: a gázturbina jelentős üzemanyag-megtakarítása.⁶ Idesorolhatók a komplex áramláscsatorna-rendszerekkel gyártott, 3D-s nyomtatott integrált hőcserélők, (1. ábra) amelyek előállítására hagyományos technológiával igen bonyolult, és költséges lenne.

Tömegcsökkentés lehetősége: 3D-s fémmnyomtatással olyan rácsos tartókat lehet előállítani, amelyek bonyolult térrácsszerkezete más technológiával nem előállítható. Az ilyen tartók fő előnye az akár 20-30%-os fajlagos tömegcsökkenés, amely miatt elsősorban a repülőgépiparban lehet jelentősége.

Melyek azok a tényezők, amelyek elősegítik az ipari szintű 3D-s nyomtatás nagyobb arányú bevonását a sorozatgyártásba:

- a nyomtatási sebesség növekedése;
- a nyomtatók méretnövekedése miatt az egy munkatérben elhelyezhető termékek nagyobb száma;
- a professzionális (ipari) műanyagnyomtatók és alapanyagaik esetében a Z tengely menti szilárdságcsökkenés 95% alá redukálása;
- olyan új alapanyagok (főként szálerősítésű műanyagok) alkalmazása, amelyek szilárdsága megközelíti a könnyűfémekét;
- különféle utókezelési technológiák megjelenése (pl.: műanyag termékek felületkezelés).

Összeségében a 3D-s műanyagnyomtatás napjainkban már nemcsak a prototípus gyártásban, de a sorozatgyártásban is szerephez jut. Például az Airbus utasszállító repülőgépein mintegy 1200 műanyag alkatrészt már 3D-s műanyagnyomtatással állítanak elő.

A 3D-S NYOMTATÁS LEHETŐSÉGEI A KATONAI ALKALMAZÁS TERÜLETÉN

A technológia részben katonai eredetre tekint vissza, mivel az SLA 3D-s nyomtatási rendszert a DARPA⁷ támogatásával fejlesztették ki 1980-ban.

A 3D-s nyomtatás, bevezetendő diszruptív technológiaként szerepel Magyarország 2021. évi Nemzeti Katonai Stratégiájában. [1] Katonai alkalmazásának lehetséges területei:

- prototípusgyártás a hadiiparban (pl. Gestamen fegyvercsalád). Egyes hadiipari termékek prototípusának egyszerűbb és gyorsabb elkészítése. A prototípuson elvégzendő vizsgálatok (szerelhetőség, ergonómiai működés) lehetővé tétele gyorsabban és gazdaságosabban;
- hadszíntéri pótalkatrész-ellátás kényszerhelyzetben, pl. missziós műveleteknél;
- egyedi alkatrész, részegység, prototípus gyártása a katonai logisztika és a hadiipar számára: a hadiipar jellemzője egyes területeken a csekély darabszám, amelyhez a hagyományos gyártásor elkészítése jelentősen növelné a költséget és a ráfordított munkaóramennyiséget is. Ez a folyamat gyorsítható az additív (3D-s) gyártástechnológiával;
- a haditechnikai eszközök alkatrészeinek egy bizonyos hányada a sorozatgyártásban is 3D-s nyomtatással készülhet a jövőben, különösen a repülőiparban (Airbus, BME-UAV), hiszen az elérhető tömegcsökkenés 10–20%-os is lehet;





3. ábra. Solid Concepts 1911 DMLS az M1911 pisztoly 3D-s nyomtatott lőfegyverváltozata [10]

– olyan, a KGST⁸ és a Varsói Szerződés időszakából megmaradt gépek, berendezések pótalkatrész-utánpótlása, ahol már nem gyártanak és nem forgalmaznak pótalkatrészt a típushoz.

A 3D-s nyomtatás NATO kutatás-fejlesztési fókuszterület, [2] és az EDA⁹ is kiemelt technológiaként kezeli. A 3D-s nyomtatással a Magyar Honvédségen belül korábban az MH Modernizációs Intézet is foglalkozott, 2022. november 1-től ezt a tevékenységet a Haderőmodernizációs és Transzformációs Parancsnokság vette át.

A 3D-s nyomtatással megvalósítható különféle fémalkatrészek pótalkatrész-előállítás célú gyártása, amely a vonatkozó NATO kutatás-fejlesztési célokkal összhangban jelentős mértékben elősegítheti a missziós területen tevékenykedő katonai szervezetek alkatrészellátását, lényegében utánszállítás nélkül, illetve a kritikus alkatrészhány esetén.

Lőfegyveralkatrészek additív gyártására az utóbbi években több eredményes kísérletet is láthatunk, elsősorban műanyag szálolvasztásos, és szelektív léze-



4. ábra. 3D-s műanyag nyomtatással előállított fegyvermarkolat (Fotó: Dr. Hennel Sándor)

res szinterézós megoldások alkalmazásával. [3] (3. ábra). Az ilyen technológiával nyomtatott lőfegyverek hátránya (egyelőre) a rövid élettartam.

Összességében az innovatív, forradalmi technológiáként számon tartott 3D-s fémnyomtatás a lehetőségek széles skáláját biztosítja, lehetővé téve a hadiipari és haditechnikai alkalmazások széles spektrumát, amelyek alapjaiban változtatják meg korunk hadviselésének haditechnikai-logisztikai támogatását. A katonai alkalmazás területén a 3D-s nyomtatásnak a katonai logisztika lehet a legfőbb alkalmazója, mivel egyes esetekben gyorsabb és olcsóbb lehet egy-egy meghibásodott fegyver- vagy gépjárműalkatrész helyben történő kinyomtatása, mint a hazai tártérből történő (légi) szállítása.

Az Amerikai Egyesült Államok (USA) hadseregének egyik kutatás-fejlesztéssel foglalkozó központja az ARDEC (US Army Armanent Research, Development and Engineering Center) sikeresen tesztelt egy szelektív lézeres szinterézés eljárással készült gránátvetőt, amely arra enged következtetni, hogy az USA komolyan gondolja az additív gyártás-technológiák hadiipari alkalmazását. [4]

Oroszországban lézeres szinterézós technológiával fémorból előállított lőszeret teszteltek, amelyek több szempontból is hasonlóan jó eredményeket értek el, mint a ha-



5. ábra. 3D-s fémnyomtatással előállított gránátvető alkatrészei [4]

gyományos módszerrel készített eszközök. A Távlati Kutatások Orosz Alapítványa (Российским фондом фундаментальных исследований – РФФИ) számolt be a sikeres tesztekéről. [5]

Napjainkban már elterjedt hadiipari gyakorlat a gyakorlófegyverek és lőszer 3D-s nyomtatása műanyagból.

A KUTATÁS IRÁNYAI A NEMZETI KÖZSZOLGÁLATI EGYETEM HADTUDOMÁNYI ÉS HONVÉDTISZTKÉPZŐ KAR HADITECHNIKAI TANSZÉKÉN

A 3D-s fémnyomtatás napjainkban találta meg helyét az iparban, a hadiiparban és a katonai logisztika, a haditechnika üzemben tartása területén. A 3D-s nyomtatás technológia alkalmazhatóságának kutatása a polgári és a hadiiparban egyaránt jelentős fajsúllyal bír. Katonai területen igen fontosak az ún. diszruptív technológiák, amelyek alkalmazásától, illetve elterjedésétől a szakértők a hadviselés jelentős változását várják. A NATO Szövetséges Transzformációs Parancsnoksága (Allied Command Transformation – ACT) 2019. évi iránymutatása szerint a NATO-nak a közeljövőben az olyan új, diszruptív technológiai területeken zajló fejlesztésekre kell koncentrálnia, mint a mesterséges intelligencia, a kvantum-számítástechnika, a Big Data vagy a hipersebességű fegyverrendszerek, a fegyverek és a csapatok gyors mozgatását elősegítő fejlett logisztikai eljárások, a drónok segítségével történő logisztika és nem utolsósorban a fegyveralkatrészek 3D-s nyomtatása.

Az NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Haditechnikai Tanszék „3D fémnyomtatás alkalmazása katonai logisztikában és hadiiparban” tárgyú kutatása – mint kiemelt kutatási terület – célja a 3D-s fémnyomtató berendezés alkalmazásának vizsgálata haditechnikai eszközök alkatrészyártás, képzés és K+F+I tevékenység érdekében. További feladat a fémnyomtatás alkalmazásának vizsgálata a katonai logisztikában és a hadiiparban. Kiemelt figyelmet érdemelnek az olyan új additív technológiák, mit például az ADAM- (Atomic Diffusion Additive Manufacturing)

6. ábra. ADAM fémnyomtatási technológiával készült belső rácsos kitöltés [12]



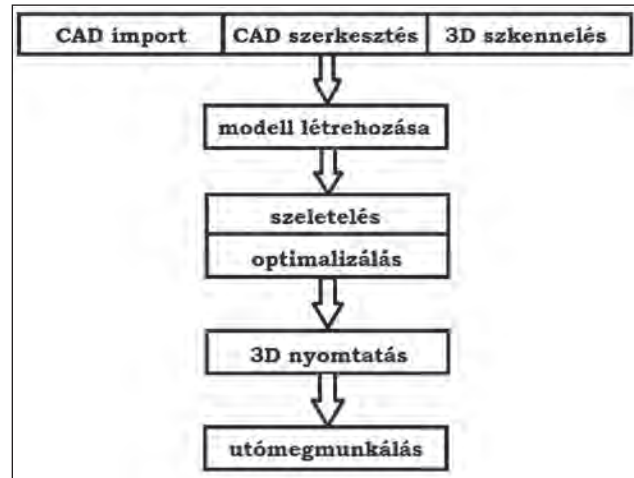
technológia. Az ADAM-technológiájú 3D-s fémnyomatás alkalmazása – a fejlesztők reményei szerint – nagyban csökkenti majd a fémnyomatás költségeit.

Az ADAM-eljárás lényege, hogy a nyomtató a tárgyakat rétegről rétegre, hőre lágyuló polimerrel és viasszal kötött fémporból gyártja le. A kötőanyagot a nyomtatás után eltávolítják, majd az alkatrész szinterezés során éri el az öntvény minőséget. Az így készült alkatrészek alkalmasak további gépi megmunkálásra, felületkezelésre vagy akár hőkezeléssel történő szilárdságnövelésre is. [6] Az ADAM-eljárás gyors, költséghatékony és olyan geometriák, például rácsos belső szerkezet gyártására is képes, amelyre más fémnyomatási technológiák nem, vagy csak nagyon bonyolultan képesek megvalósítani. A technológia alkalmazása során a nyomtatvány az eredeti méretéhez képest mintegy 20%-os zsugorodást szenved el, ez befolyásolja a méretpontosságot (és belső feszültségek keletkezéséhez is vezethet). A kutatás várt eredményei, célkitűzései: gyakorlófegyverekkel és lőszerrel kapcsolatos alkalmazói igények részleges kielégítése, a hadszíntéri logisztika lehetőségeinek bővítése, prototípusgyártás, nem teherviselő fegyveralkatrész nyomtatása, könnyített UAV-alkatrész gyártása.

A 3D-s NYOMTATÁS GYÁRTÁSFOLYAMATA

A 3D-s modellezés során az additív gyártási eljárást megelőzi egy digitális modell elkészítése, amelyet egy számítógépes modellezőszoftver (CAD) segítségével állítanak elő. A leggyakoribb adatformátum a CAD-szoftver és a 3D-s printer között az STL- (Standard Tessellation Language / StereoLithography) fájl, amely a térbeli test felületét apró közelítő háromszögekre bontja. Kevésbé általános a VRML-formátumú (Virtual Reality Modeling Language - virtuális valóságot modellező nyelv) fájlok használata, mivel a 3D-s nyomtatást támogató szoftverek fejlődésével a VRML-formátum háttérbe szorult. A 3D-s modellek létrehozására leggyakrabban használt szoftverek: PTC Creo, Solid Edge, Autodesk Inventor, CATIA, FreeCAD, OpenSCAD, TinkerCAD, DesignSpark, Fusion 360, SketchUp. Amennyiben nem áll rendelkezésre semmilyen digitális információ, egy-egy térbeli forma digitális megfelelője előállítható egy 3D-s szkennelők segítségével is. Ebben az esetben a tényleges nyomtatás felbontásán kívül a szkennelők felbontása is korlátozza a pontosságot. Arról nem is beszélve, hogy a szkennelők természetesen csak a külső felületet látja, a belső szerkezetet nem, így ha nem elégszünk meg a tömör alkatrészszel, üregeket csak a modell utólagos kézi módosításával lehet előállítani.

Szeletelő program: a 3D-s modell előnézeti képéből a szeletelő program állítja elő a tényleges nyomtatási fájlt. A beolvasott 3D-s modellt rétegekre szeleteli, és legenerálja a hozzájuk tartozó szerszám pályát. A kimenete általában a CNC-gépeknél használt G-Code¹⁰. Néhány nyomtatógyártó saját formátumot használ, ezek egyedi szeletelő programot mellékelnek a nyomtató mellé. A szabad szoftver- és hardveralapú nyomtatók kompatibilisek a legtöbb szeletelő programmal, mint például a Slic3r és a Repetier. A szeletelő programban történnek a technológiai és nyomtatási beállítások. Itt lehet kiválasztani, hogy milyen technológiát alkalmazva kívánjuk kinyomtatni a modellt. Akarunk-e alapot, illetve alátámasztásokat adni a modellhez. Kívánjuk-e menet közben tisztítani a nyomtatófejet. Sok esetben változtatható a nyomtatási alap hőmérséklete, a nyomtatás hőmérséklete, és sebessége is. A modell hűtése, a várakozási idő két réteg nyomtatása között, és egyéb paraméterek is beállíthatók. A fémnyomatók a különféle



7. ábra. A 3D-s nyomtatás technológiai folyamata (A szerzők szerkesztése)

fémporok megmunkálásához további különféle paramétert állítanak (a munkalap hőmérséklete, lézerteljesítmény, expozíciós idő). A korai fémnyomatók esetében ezeket sokszor szabadon lehetett módosítani, de napjainkban a legtöbb esetben komplex szupport stratégiákat alkalmaznak és mentenek el, vagyis a gyártó által az adott alapanyaghoz tartozó beállításokat nem lehet módosítani, ez az opció többnyire csak a kutatók számára érhető el, jelentős licenccij ellenében.

A 3D-s fémnyomatásnál alkalmazott gyártási teszt szoftverek: a 3D-s gyártás folyamat egyik fő kockázati tényezője, hogy a gyártás során a gyártmány a konstrukcióból adódó hőgyűjtő helyek létrejötte, illetve – hőelvezető szupportok alkalmazásának hiánya – miatt egy adott helyen túlmelegszik, a szerkezetében torzulások jönnek létre, az ötvöző kiég vagy az anyag túlzottan beedződik, reped stb. E gyártási hibák kiküszöbölése érdekében a megtervezett terméket a nyomtatást megelőzően egy teszt szoftveren ellenőrzik, elsősorban helyi túlmelegedéseket keresve a gyártás virtuális modellezése során. Ha ilyen túlmelegedési helyekre bukkannak, még mindig beépíthető nagyobb számú hőelvezető szupport, vagy növelhető a termék anyagvastagsága a kritikus helyen. Egy példa a teszt szoftverre: Materialise Magic amely a 3D-s modell elkészítésén túl, egyben a hőterhelés modellezésre is alkalmas.

A generatív tervezés jellemzően CAD-végelem alapon realizálódik. A CAD-tervezés fejlődésével – a várakozások szerint – a közeljövőben széles körben teret nyer a generatív tervezés, részben a mesterséges intelligenciában rejlő lehetőségeket kihasználva. A generatív tervezés során az általunk megadott paraméterek és peremfeltételek alapján a szoftver több lehetséges megoldást hoz létre egy termékre vonatkozóan. Alkalmazásával lehetővé válik:

- egyes alkatrészek fajlagos tömegének csökkentése,
- a gyártási költség leszorítása.

A topológiai optimalizáció¹¹ során első lépésben a mérnök megtervezi az alkatrészt, megadott terhelésekkel, kényszerekkel. A szoftver ezután topológiailag optimalizált hálómódellet készít. A topológiai optimalizálás képességével egyes CAD-szoftverek már rendelkeznek.

A generatív tervezés és a topológiai optimalizáció kapcsolatban áll a 3D-s nyomtatással. A generatív tervezés egyes geometriáknál lényegében igényli is a 3D-s nyomtatás alkalmazását. Ugyanis a generatív tervezés eredménye gyakran rendkívül nagy hatékonyságú, de igen komplex forma (pl.: rácsszerkezet). Az ilyen összetett geometriák



8. ábra. Egy alkatrész generatív változatai, ahol az első változat hagyományos gyártástechnológiai módszerekkel, a további változatok additív gyártástechnológiával készíthetők el [13]

legyártása hagyományos módszerekkel bonyolult, lassú, rendkívül költséges, illetve adott esetben véges számú darabból összeillesztve is lehetetlen. Akár fröccsöntéssel, akár forgácsolással generatív tervezés során létrehozott topológiailag optimalizált, nagy komplexitású geometriával rendelkező szerkezeteket, alkatrészeket létrehozni egyszerűen nem kifizetődő. Az olyan additív gyártási eljárás, mint a 3D-s nyomtatás jelenti a megoldást az ilyen komplex geometriák gyártásához. [7]

(Folytatjuk)

A TKP2021-NVA-16 számú project az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatással, a Tématerületi Kiválósági Program 2021 TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg.



INNOVÁCIÓS ÉS
TECHNOLÓGIAI
MINISZTERIUM



NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI
ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL

HIVATKOZOTT IRODALOM

- [1] Magyarország Nemzeti Katonai Stratégiája (2021). 1393/2021. (VI. 24.) Kormány határozat Magyarország Nemzeti Katonai Stratégiájáról. Magyar Közlöny 2021. évi 119. szám. pp. 5075–5077.;
- [2] Korom Ferenc. „Feladataink egy új, hatékony, modern haderő létrehozása érdekében” *Honvédségi Szemle*, 2020/1. 3–4. <https://kiadvany.magyarhonvedseg.hu/index.php/honvszemle/article/view/9/7> (Letöltve: 2020.3.23.);
- [3] Gál Bence; Németh András. „Additív gyártástechnológiák katonai alkalmazásának vizsgálata, különös tekintettel a katonai elektronika területére”. *Hadmérnök*, 2019. XIV. évfolyam 1. szám;
- [4] Saunders, S.: US Army Successfully Tests 3D Printed Grenade Launcher with 3D Printed Grenades; <https://3dprint.com/167567/3d-printed-grenade-launcher/> (Letöltve: 2018.6.8.);
- [5] FRE3DEEblog. http://freedee.blog.hu/2016/11/15/nyomtatott_lovedek#more11959853 (Letöltve: 2018.6.7.);
- [6] „Fémnyomtatás elérhetőbb áron”, *GyártásTrend Technológiai Magazin* május 02. (2019) <https://gyartastrend.hu/cikk/femnyomtatasi-elertobb-aron;>

- [7] Tóth, B.; Andó, M. (2020). Generatív tervezés kombinálása 3D nyomtatással. *Mérnöki és Informatikai Megoldások*, 1(1.), pp. 61–68. <https://doi.org/10.37775/EIS.2020.1.9;>
- [8] Industry 4.0 Policy Department Economic and Scientific Policy, 2016, pp. 22–23. <https://www.ipar4.hu/page/ipari-forradalmak-ipar-4-0> (Letöltve: 2022.9.9.);
- [9] Forrás: Application Spotlight: 3D Printing for Heat Exchangers. <https://amfg.ai/2019/07/17/3d-printing-for-heat-exchangers-application-spotlight/> (Letöltve: 2021.11.30.);
- [10] Forrás: Tomas Kellner: 3D-Printed ‘Bionic’ Parts Could Revolutionize Aerospace Design <https://www.ge.com/news/reports/3d-printed-bionic-parts-revolutionize-aerospace-design> (Letöltve: 2021.11.30.);
- [11] Forrás: HEXUS. <https://hexus.net/tech/news/peripherals/62261-direct-metal-laser-sintering-used-3d-print-working-metal-pistol/> (Letöltve: 2022.8.29.);
- [12] Forrás: https://www.muszaki-magazin.hu/media/2019/05/ADAM-femnyomtatasi-keszult-belső-racsos-kitoltes_2-768x319.jpg (Letöltve: 2022.8.29.);
- [13] Forrás: <https://engineeringproductdesign.com/knowledge-base/topology-optimization/> (Letöltve: 2022.8.29.).

JEGYZETEK

- 1 Az ipar 4.0 a termelési folyamatok olyan szervezését írja le, amelynek keretében az eszközök önállóan kommunikálnak egymással az értéklánc mentén: a jövő egy olyan „okos” gyárát hozva létre ezzel, amelyben a számítógép-vezérelt rendszerek nyomon követik a fizikai folyamatokat, létrehozzák a fizikai valóság virtuális mását, és decentralizált döntéseket hoznak önszervező mechanizmusok alapján. [1]
- 2 A bennszülött alkatrész olyan alkatrész, amely csak tervrajzon megvalósítható, mert átgondolatlan tervezése vagy a hibás műszaki rajz miatt lehetetlen legyártani, szétszedni vagy használni. Az alkatrész fizikai mérete miatt a valóságban nem beszerelhető, az azt körülvevő alkatrészen nincs megfelelő méretű nyílás. (A szerk.)
- 3 Anyagelvételes eljárások, pl. forgácsolás, esztergálás, marás.
- 4 Anyag hozzáadásán alapuló eljárás. A 3D-s nyomtatásként is ismert additív gyártás során a legkülönbözőbb méretű, formájú és struktúrájú alkatrészeket állítanak elő úgy, hogy rétegenként olvasható anyag kerül felhordásra, a megadott digitális konstrukciók adatok alapján. 3D-s nyomtatási eljárással – például a szelektív lézeres olvasztás (SLM), a Fused Deposition Modeling (FDM) vagy a Binder Jetting – munkadarabok prototípusai, vagy kis darabszámú sorozatok készíthetők el gyorsan és kedvező áron. (A szerk.)
- 5 (CAD) Computer-Aided Design jelentése: számítógéppel segített tervezés.
- 6 Kivitelező: Varinex Zrt., együttműködő: GE Aviation.
- 7 A DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency – Fejlett Védelmi Kutatási Projektek Ügynöksége) az Egyesült Államok Védelmi Minisztériumának kutatásokért felelős részlege. (A szerk.)
- 8 A Kölcsönös Gazdasági Segítség Tanácsa a közép- és kelet-európai szocialista országok gazdasági együttműködési szervezete volt a hidegháború (1949–1991) alatt. (A szerk.)
- 9 European Defence Agency (EDA) „Additive Manufacturing – A Capability Enabler for Logistic Support”. October 8. 2021. Hazánk is képviselteti magát az EDA említett munkacsoportjában.
- 10 A G-kód (RS–274) a legszélesebb körben használt számítógépes numerikus vezérlésű (computer numerical control – CNC) programozási nyelv. Főleg a számítógéppel segített gyártásban használják automatizált szerszámgépek vezérlésére. (A szerk.)
- 11 Topológia optimalizálás egy matematikai módszer, amely optimalizálja az anyag elrendezését egy adott tervezési térben, egy adott terhelési halmazhoz, peremfeltételek és korlátok a rendszer teljesítményének maximalizálása céljából.

Dr. Hajdú Ferenc*

Triális képzés a had- és hadiipari mérnökök új generációi számára

A védelmi innováció újraindítása

A 16. századtól kezdődően, a katonai innováció térnyerésével, az egyébként forrásokban nem bővelkedő Nyugat-Európa több évszázadra megalapozta dominanciáját és az ismert világ egyharmadára kiterjesztette befolyását, amelyet az első világháború végéig fenn is tudott tartani. [1] Az innováció úgy határozta meg a civilizáció fejlődését, hogy az innováció fogalmát még nem definiálták. Az Oslo kézikönyv – Útmutató az innovációval kapcsolatos adatok gyűjtéséhez, jelentéséhez és felhasználásához újabb és újabb kiadása próbál pontosabb meghatározást adni, „... de az innovációs folyamat és annak gazdasági hatásának értelmezése még mindig hiányos.” [2]

A téma fontosságát jelzi az is, hogy a Magyarország Nemzeti kutatási, fejlesztési és innovációs stratégiája 2021–2030 című dokumentumban megjelent a védelmi szektor fejlesztésének igénye, hiszen „... a KFI¹ tevékenységek hatással vannak a teljes társadalomra, gazdaságra és környezetre, a honvédelemre...” [3].

A védelmi szektorunk fejlődéséhez a nemzetközi környezet is támogató háttérrel biztosít. Az Európai Védelmi Alap (European Defence Fund – EDF)² forrásaihoz és a NATO Science and Technology Organization (NATO STO – A NATO Tudományos és Technológiai Szervezete) alacsony TRL³ szintű programjaihoz való hozzáférés lehetősége adott számunkra, ennek kiaknázásához véleményem szerint a rendelkezésre álló tudásunk a legszűkebb keresztmetszet.

Magyarország Nemzeti Katonai Stratégiája célként tűzi ki, hogy létrehozza „... a magyar állampolgárok biztonságát növelő katonai erőt és az ennek fenntartásához szükséges hadiipari kapacitásokat.” [4]

Ehhez a Magyar Honvédség (MH) a katonai műveleti és műszaki igényeivel, ezeknek a tudomány és az ipar szereplői számára történő szakszerű megfogalmazásával, illetve az innováció teljes folyamatában történő részvétellel tud hozzájárulni. A folyamat MH számára releváns része:

- a probléma megfogalmazása, vagy a lehetőség felismerése a tudományágak és területek fejlődésében,

- az innovációs folyamat mentorálása annak érdekében, hogy az MH érdekei folyamatosan érvényesüljenek,
- tesztkörnyezet biztosítása az innováció teljes folyamatában, a szükséges hatósági, haditechnikai ellenőrző vizsgálatokhoz, vagy csapatpróba-hoz,
- és referencia biztosítása a hadiipari termékek értékesítéséhez.

A probléma megfogalmazásához, vagy a lehetőség felismeréséhez az adott tudományterület aktuális szintjén megfelelő jártassággal kell rendelkezni, a műveleti alkalmazások ismeretével és az ipar lehetőségeivel, igényeivel, valamint a technológizálás folyamatával is tisztában kell lenni.

Az innováció folyamata a meglévő képességek gyors megvalósításától a sokéves kutatásig tarthat, amelynek során számos olyan döntési helyzet, módosítási kényszer alakulhat, amelynek során az MH érdekei sérülhetnek. Esetleg a biztonsági környezet változása miatt a honvédség kényszerül módosítást igényelni az innováció folyamatában.

A tesztkörnyezet biztosításához elengedhetetlenül szükségesek gyakorlóterek, lőterek, esetleg olyan speciális labor-képességek, amelyekhez nincs, vagy nem biztosítható civil képesség. Emellett szükséges olyan katonai állomány, amely végrehajtja vagy amelynek bevonásával elvégzik a szükséges változásokat. Példa lehet erre a táborfalvai Lőkísérleti és Vizsgáló Állomás, ahol a műszaki vizsgálatok mellett élettartam-vizsgálatokat is végre tudnak hajtani, vagy a Szuperatléta program, amelyben az MH Altiszi Akadémia önkéntes állománya vett részt egy, az egészséges táplálkozás katonai megvalósíthatóságának, és a katonák hadrafoghatóságának biztosítása érdekében folytatott vizsgálatban.

A katonai referencia a hadiipari termékek értékesítése során fontos követelmény. Nagyon nő a termék értékesíthetősége, ha a gyártó ország hadereje rendszeresítette, alkalmazási tapasztalatokkal rendelkezik, és képes azok demonstrálására is, gyakorlatok, kiállítások és vásárok alkalmával.

ÖSSZEFOGLALÁS: Magyarország Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Stratégiája megállapítja, hogy a védelmi szektor fejlesztése és a K+F+I tevékenységek hatással vannak a honvédelmen kívül a teljes társadalomra, a gazdaságra és a környezetre is. A szerző közleményében a Magyar Honvédség szerepét és feladatrendszerét vizsgálja a fenti folyamatokban. A védelmi innováció folyamatát három lépésben tárgyalva, sorra veszi a tudástermelés, a tudásáramlás és a tudásfelhasználás részterületeit.

KULCSSZAVAK: Triális képzés, K+F+I, védelmi innováció, Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program

ABSTRACT: Hungary's National Research, Development and Innovation Strategy states that the development of the defense sector and R+D+I activities have an impact not only on national defense but also on the entire society, the economy and the environment. In this paper the author examines the role and task system of the Hungarian Armed Forces in the above processes. Discussing the process of defense innovation in three steps, the sub-areas of knowledge production, knowledge flow and knowledge use are taken one by one.

KEY WORDS: Trial training, research development innovation, defence innovation, Defence and Development Programme

* Ezredes, MH Haderőmodernizációs és Transzformációs Parancsnokság, Honvéd Tudományos Kutatóhely, osztályvezető ORCID 0000-0003-0449-7678



1. ábra. Az innováció folyamata a KFI stratégia alapján [3]

Magyarország Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Stratégiája 2021–2030 [3] az innováció folyamatának három átfogó célját határozza meg:

- a tudástermelést,
- a tudásáramlást és
- a tudásfelhasználást.

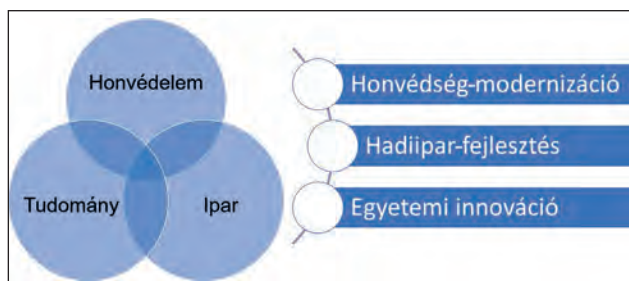
A védelmi innováció folyamatának (1. ábra) első lépése az elérendő célokhoz szükséges tudás megteremtése. A tudás és annak felhasználása, a folyamat hatékonyságának növelése, az ipar igényeinek kielégítése alapvető gazdasági érdek. Az ennek érdekében szervezett duális képzések sikere mutatja a helyes utat. Az egyetemi és ipari együttműködések a védelmi szektor számára azonban nem elégségesek. Szükség van egy harmadik szereplő bevonására is, amely rendelkezik a katonai műveleti és műszaki tudással is. Ezt a feladatot honvédelmi érdekként rögzítették Magyarország Nemzeti Katonai Stratégiájában is:

„A tudásanyag megalapozása, annak átörökítése és a rendelkezésre bocsáthatóság biztosítása a védelmi ipar, a magyarországi egyetemek és főiskolák, az MH és a felelős szaktárcák közös feladata, egyben a honvédelem érdeke”. [4]

A folyamatok a felületen zajlanak, ezért ennek a viszonyrendszernek léte, az együttműködések szabályozottsága kiemelkedő fontosságú céljaink eléréséhez. A viszonyrendszer (2. ábra) működéséhez szükség van egy had- és hadipari mérnök-kar létrehozására, amely a szakértői felületen tudja biztosítani a honvédelem, a tudomány és az ipar közötti tudásáramlást. A mérnök-kar különböző szakterületeinek együttműködése, a köztük lévő információáramlás alkalmas bonyolult rendszerek létrehozására. Napjainkra már a digitális katona is egy rendkívül bonyolult rendszer, hiszen több tucat tudományág közös, szervezett és egyeztetett tevékenysége szükséges a kialakításához és a folyamatos továbbfejlesztéséhez.

A szakértői kar kialakulása, szerepe és az innovációs ökoszisztémán belüli elhelyezkedése a régmúlt időkre mutat vissza. Magyarországon, a Monarchia hagyományaira alapozva, a trianoni békediktátum tiltását kijátszva,

2. ábra. A honvédelem, a tudomány és az ipar viszonyrendszere a védelmi innováció érdekében [5]



1920-ban alapították meg a Haditechnikai Intézetet, és hozták létre a hadiműszaki törzskart. F fiatal tisztjeit iskolázták be a Magyar Királyi Honvédség hosszú távú igényeinek biztosítása érdekében a Magyar Királyi József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemre. [6] A II. világháború után a veszteségek pótlására és a „megbízhatatlan horthysta” hadmérnökök lecserélésére a Budapesti Műszaki Egyetemen indítottak hadmérnökképzést, 6 tagozaton. [7] Ennek megszüntetése után alig több mint egy évtizeddel, nem csak mérnökök számára hozták létre a Karikás Frigyes Katonai Kollégiumot. [8] Az MH történetében látható, hogy időről időre újjászervezi a hadmérnöki

tudásbázist a frissülő ismeretek pótlásának érdekében.

Az MH közép- és hosszú távú célkitűzéseinek végrehajtásához kétféle mérnökképzési koncepció is szükséges. Az első a Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program (HHP) műszaki tartalmához kapcsolható had- és hadipari mérnökök képzésére. Erre lehet példa a kecskeméti Neumann János Egyetemen indított Fegyvertervező és -gyártó szakirány. A másik, a ma még nem ismert biztonsági kihívásokra, még nem létező műszaki megoldásokkal adandó válaszokat kutató – jellemzően – doktori kutatások.

A HHP ismert hadiipari fejlesztései, az épülő gyárak, meglehetősen pontosan meg tudják adni azt a tudást, amely szükséges a gyárak működtetéséhez és gyártmányaik fejlesztéséhez. Mivel ezeknek a gyáraknak a működésére nem csak békeállapotban van szükség, ezért fontos lehet az erre felkészítendő állomány számára a megfelelő szintű katonai műveleti és műszaki ismeretek biztosítása az oktatási intézetekben, vagy a tartalékos képzés során. Az MH középtávú igényei is számolhatók, ahhoz azonban ismerni kell a teljes élettartam menedzseléséhez szükséges képességeket a harcászati és műszaki követelmények meghatározásától, a minőségi átvételeken keresztül, folytatva az üzemeltetés teljes élettartamon át történő szervezéséig, a műszaki dokumentáció biztosításától a szabványok és szellemi tulajdon kezelésén át, a rendszerből történő kivonás menedzseléséig. A teljes élettartam menedzseléséhez szükséges képességek összegyűjtése, a HHP igényeinek megfelelően, egy külön tanulmány témája lehetne. Eldöntendő kérdés az is, hogy ezekhez a képességekhez hivatásos katonákra van szükség, vagy elegendő a feladatokat a tartalékos állománnyal megoldani. Véleményem szerint vitathatatlan, hogy a technika és a műszaki tudományok fejlődése megköveteli e képességek meglétét. Azt, hogy ennek biztosítása a Nemzeti Katonai Stratégiában is jelzett három pillér közül a honvédelem, az ipar, az egyetemek, vagy egy, az ezek felett álló szervezet feladatköréhez tartozzon – szakítva az előző évtizedek hagyományával – sürgető közös gondolkodás tárgya lehet. A lényege a közös felület és az együttműködés megléte.

Nehezebb kérdés a hosszú távú célok eléréséhez szükséges tudás megteremtése. Hiszen egy prognosztizált biztonsági környezet és a tudomány fejlődési irányainak kielégítéséhez kell tudástermelést szervezni.

A 2018. évi Haditechnikai kutatók-fejlesztők napja alkalmából, az MH Logisztikai Központjánál szervezett konferencián, prof. dr. Kroó Norbert fizikust kértük fel, hogy készítsen prognózist a tudomány fejlődésének hatásairól a hadviselésre.

Professzor úr véleménye szerint a 20. században egy ország erejét hadseregének létszáma, acéltermelésének volumene és területének nagysága határozta meg. Ezzel

szemben a 21. század a hasznosítható tudás százada lesz, ahol meghatározó:

- a tudomány növekvő szerepe,
- a tudomány és a gazdaság szoros kapcsolatának szükségessége,
- a tehetségek szerepének felértékelődése és
- a kreativitás és innováció kulcsszerepe. [9]

Véleményem szerint a megoldási irányok egyikét a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal által meghirdetett pályázatsomag jelentheti. Egyik ilyen pályázat a Tématerületi Kiválósági Program, Nemzetvédelem, nemzetbiztonság alprogramja, amely „A polgári lakosság elleneskedések, valamint katasztrófákkal szembeni védelmét és biztonságát szolgáló megoldások fejlesztése (pl. kibervédelem, mesterséges intelligencia, szenzortechnológia és jelfeldolgozás, lézertechnológia, robotika, rádiótechnika, energiabiztonság, kognitív képességfejlesztés, egyéni kommunikáció fejlesztés, speciális körülmények között feladatot ellátó személy fizikai, fiziológiai állapotát javító fejlesztések és kutatások stb.)” [10] szolgálja. A pályázatokra – amelyen a Nemzeti Köszolgálati Egyetem is sikeresen vett részt – magyar felsőoktatási és kutatóintézetek jelentkezhetnek. Véleményem szerint a pályázatok jelentős része az MH fejlesztését kell, hogy szolgálja. Ezek megvalósulásához azonban szükséges a katonai műveleti és műszaki tudás jelenléte. A másik lehetőség a Kooperatív Doktor Program Nemzetvédelmi alprogramja, ahol az ipari igényhez doktorandusz téma rendelhető. Ehhez vagy az iparban dolgozó doktoranduszt kell megnyerni katonai műszaki témának, vagy az ipari érdeklődésre számot tartó témájú katonai doktorandusznak kell lehetőséget biztosítani szerződésükre az iparral.

A hazai védelmi ipar felkészítésének kezdeti lépéseként licencvásárlással, gyártelepítéssel beindult a hazai kézi-fegyvergyártás. A védelmi fejlesztésekért felelős kormánybiztostól kapta a feladatot az MH Modernizációs Intézete, hogy pilot projektként segítse egy, a Neumann János Egyetemen indítandó fegyvertervező és -gyártó gépész specializáció indítását. A Neumann János Egyetem Műszaki Karának, az MH Modernizációs Intézetének, a Diana Fegyvertechnikai Technikum és Kollégiumnak és a HM Arzenál Elektromechanikai Zrt.-nek együttműködésében, alapvetően az MH meglévő képességeire alapozva elkészült a specializáció tantárgyi programja, és megkezdődött a tananyag kidolgozása. Az elméleti tananyagrészeket alapvetően az egyetem bázisára, a gyakorlati oktatást a Diana, az Arzenál és az MH bázisaira tervezik. A gyakorlati képzés során a hallgatók nemcsak az ipari szereplőkkel, de az MH szakfeladataival is megismerkednek, és lehetőségük lesz katonai szolgálat vállalására is. Ehhez kiemelten fontos a hallgatók és az MH érintett állományának személyes, emberi kapcsolata, valamint a szakmai mentorálás. Ez a tehetséggondozás természetesen hatalmas feladatot és felelősséget ró az MH Haderómodernizációs és Transzformációs Parancsnokság állományára, amelynek ez nem alapvető feladata. A pilot projekt sikere esetén több ilyen képzési együttműködés is köthető az MH, az egyetemek és a védelmi ipari partnerek között, de ehhez a honvédség más szervezeteinek szakmai képességei is szükségesek.

ÖSSZEGRÉS

Ha nem áll rendelkezésre készen az innováció megkezdéséhez a tudás, nincs „alacsony csüngő gyümölcs”, amit csak le kell szakítani. Nincs meg a tudás, amit megfelelő menedzser szervezet segítségével áramoltathatnánk a

hasznosítás céljából. Ha nem gondoskodunk alkalmas hadtudományi és katonai műszaki tudásról az egyetemek, kutatóintézetek és a védelmi ipar számára, akkor az érvényét veszti, majd kiüresedik. Az innováció folyamata nem az ötlettel, hanem a tudás termelésével kezdődik. A hasznosítható ötlet, a már meglévő tudáson alapul.

A Neumann János Egyetem, a Magyar Honvédség és együttműködő partnerei részvételével a 2022/2023-as tanévben triális képzést indít, amelyre már a meghirdetés előtt mind a potenciális hallgatók, mind a hadiipar, mind a potenciális beszállítók részéről nagy az érdeklődés. A pilot projekt sikerére, egy új had- és hadiiparimérnök-generáció megjelenésére azonban még néhány évet várni kell.

HIVATKOZOTT IRODALOM

- [1] Parker, Geoffrey. *The Military Revolution. Military Innovation and the Rise of the West, 1500-1800*, Cambridge University Press, 1996;
- [2] Oslo kézikönyv 2018, Oslo Manual 2018 Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation, 4th Edition <https://www.oecd.org/science/oslo-manual-2018-9789264304604-en.htm> (Letöltve: 2022.8.22.);
- [3] Magyarország Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Stratégiája 2021–2030 <https://nkfi.gov.hu/hivatalrol/strategia-alkotas/kutatasi-fejlesztési-innovációs-strategia> (Letöltve: 2022.8.22.);
- [4] Magyarország Nemzeti Katonai Stratégiája https://2015-2019.kormany.hu/download/a/40/00000/nemzeti_katonai_strategia.pdf (Letöltve: 2022.8.22.);
- [5] Hajdú Ferenc. *A Haditechnikai Intézet történetének és működésének vizsgálata 1920-tól 1990-ig* doktori értekezése 2009. <https://docplayer.hu/11525015-Phd-ertekezes-hajdu-ferenc-mernok-alezredes-a-haditechnikai-intezet-tortenetek-es-mukodesenek-vizsgalata-1920-tol-1990-ig.html>;
- [6] Hajdú Ferenc, Sárhidai Gyula. *A Magyar Királyi Honvéd Haditechnikai Intézetéről a HM Technológiai Hivatalig 1920–2005*, HM Technológiai Hivatal;
- [7] Tájékoztató a Budapesti Műszaki Egyetem hadmérnöki kar tagozatairól, Honvédelmi Minisztérium Katonai Tanintézetek Csoportfőnöksége;
- [8] M. Szabó Miklós. *A Karikás Frigyes Katonai Kollégium története: 1969–1991* Budapest: Zrínyi Kiadó, 2019.;
- [9] Kroó Norbert: A tudomány és technológia forradalma a 21. században, I.A.T. Kiadó 2019.;
- [10] Tématerületi Kiválósági Program 2021 <https://nkfi.gov.hu/palyazok/nkfi-alap/tematerületi-kivalóságiprogram-tpk2021>.

JEGYZETEK

- 1 A K+F+I (Kutatás, Fejlesztés, Innováció) betűszó olyan tudományos fejlesztő alkotómunkát jelöl, amelynek célja az ismeretanyag bővítése és annak felhasználása új megoldások kidolgozására.
- 2 Az Európai Védelmi Alap az európai védelmi ipar kutatás-fejlesztés támogatására, versenyképességének növelésére és a többnemzeti védelmi ipari együttműködés élénkítésére szolgáló európai uniós ösztönző kezdeményezés és pénzügyi eszköz, amely az Európai Unió (EU) Többéves Pénzügyi Keretéből mintegy 8 milliárd euróval részesedik.
- 3 A technológiai készenléti szintek (Technology Readiness Levels – TRLs) egy módszer a technológiák érettségének becsülésére a program beszerzési szakaszában. A TRL-ek lehetővé teszik a műszaki érettség konzisztens és egységes becsülését a különböző technológiatípusok között.



1. ábra. Szimulátoros repülőgépvezető-képzés a Thales cég szolnoki szimulátorával (Fotó: Angyalosi Andrea)

Dr. Rohács József*

A személyrepülőgépek biztonsága I. rész

A legújabb tudományos és technológiai eredmények már lehetővé teszik a biztonságos és gazdaságos személyrepülőgépek (Personal Air Transportation System – PATS) építését és alkalmazását. [1][2][3][4] A személyrepülőgépek használatával kapcsolatos költségek (fajlagos teljes élettartam költségei) egy felső-közép kategóriájú gépkocsi hasonló költségeivel azonosak [5]. Az új személyrepülőgépeket a közeljövőben a légi taxi vállalkozások professzionális pilótái mellett, a gépeket birtokló tulajdonosok, bérlők is nagy számban vezetik majd. Ez utóbbiak rendelkezni fognak a szükséges engedélyekkel (repülőgépvezetői jogosításokkal), de viszonylag gyakorlatlanok lesznek, mivel keveset repülnek majd. Ráadásul a repülő-

gép-vezetők úgynevezett „szituáció-elemző – döntési – végrehajtási” tevékenységi folyamata (vagyis a repülőgép vezetése) alapvetően szubjektív folyamat [6][7], amely függ a repülőgép-vezető elméleti ismereteitől, gyakorlati tapasztalatától és az egyéni pszicho-fiziológiai állapotától. Tehát a fejlesztés alatt álló, új személyrepülőgépeket kevésbé gyakorlott repülőgép-vezetők szubjektív rendszerben, aktív módon fogják irányítani. [6, 8] A repülőgépeket és az egész személyes repülési rendszert (PATS) úgy kell kialakítani, hogy az tolerálja az aktív, szubjektív irányítás alkalmazását, vagyis ilyen sajátos feltételek mellett is biztonságos legyen. [9] A repülés igény szerinti személyre szabásának képessége, nagymértékben elosztott légiköz-

ÖSSZEFOGLALÁS: A személygépjárművek módjára használható személyrepülőgépek, a személyes légi forgalom megvalósulása a jövő nagyszerű lehetősége. A feltételek megteremtéséhez nemcsak a technikai hátteret kell megteremteni, de új elveket kell alkotni, mivel a jövő repülőgép-vezetőinek többségében csak limitált repülési gyakorlata lesz. Az új elvek egyik fontos eleme a repülőgép-vezetők szubjektív döntési mechanizmusának elemzése és a szubjektív döntések modellezése. A tanulmány szerzője a repülőgépek vezetését aktív, endogén, szubjektív rendszernek tekinti, és ebből kiindulva elemzi a kisrepülőgépek biztonságát. Az eredményeket a kisrepülőgépek biztonságfilozófiájának kidolgozásakor mindenképpen érdemes figyelembe venni. A tanulmány három fő kérdéskört vizsgálva először a repülőgép irányítását, majd az irányítás szubjektív analizisét ismerteti, végül a választ elvek alapján elemzi egy repülőgép leszállását.

KULCSSZAVAK: döntéstámogatás, szubjektív döntés, döntési modellek, személyrepülőgép

ABSTRACT: Small Aircraft Transportation Systems that can be used in the same way as passenger cars, the realization of personal air traffic is a great possibility of the future. To create the conditions for this, the technical background is not enough it also needs to be created new principles, because most pilots of the future will have limited flying experience. An element of the important new principles is an analysis of the subjective decision-making mechanisms of pilots and the modelling of subjective decisions. The author of the study considers the control of small aircrafts as an active, endogenous, subjective system, and based on this analysis, he examines the safety of small aircraft. The results of the analysis is worth taking into account during working out the philosophy of small aircraft safety. Examining three main issues, the study firstly describes the control of the airplane, then the subjective analysis of the control, and finally analyses the landing of an airplane based on the outlined principles.

KEY WORDS: decision support, subjective decision, decision models, Small Aircraft Transportation System

* Professzor emeritus, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Repüléstudományi és Hajózási Tanszék. ORCID: 0000-0002-4607-9063

lekedési rendszer használatával eddig nem látott mértékű szabadságot és ellenőrzést biztosít. Ez az új képesség, a nagymértékben megnövelt mobilitás és sebesség mellett megköveteli, hogy az internet alapú, számítógépvézérelt jármű- és légtértechnológiák mindenütt megjelenjenek a légiközlekedési rendszerben. A NASA a légtérrel kapcsolatos kutatásokat ebben az új, kiscépes repülési kategóriában (Small Aircraft Transportation) a SATS-projekten keresztül végzi. Az űrügynökség járműtechnológiai fejlesztései a Járműrendszerek Program (Vehicle Systems Program) személyi légi jármű (Personal Air Vehicle – PAV) szektorában valósulnak meg. Természetesen számos más gyártó, kutatóintézet és egyetem is foglalkozik a személyrepülőgépek műszaki és repülésbiztonsági kérdéseinek megoldásával. Ezek a kutatások hasznosíthatók a pilótaképzés folyamatában is, hiszen a kiscépes repülésre történő felkészítés során a fentiekhez hasonló problémákkal találkozhatunk.

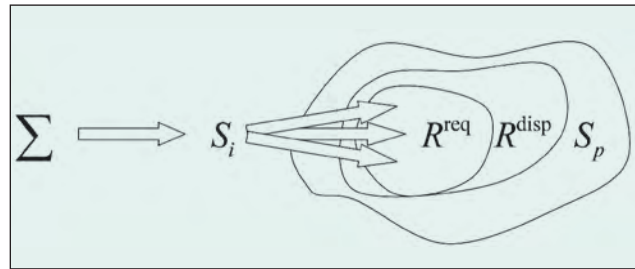
A Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Karán a közelmúltban újraindult pilótaképzést, valamint a NATO kanadai repülőképzésére (NFTC – NATO Flying Training in Canada) történő felkészítést is segítheti a repülőgép-vezetők szubjektív döntési mechanizmusának elemzése. Az elsősorban kiképzési feladatokra, így műrepülési, műszerrepülési, kötélekrepülési, valamint éjszakai kiképzési feladatokra alkalmazható, Zlin Z 143LSi és Z 242L típusú repülőgépek az összetett műrepülési feladatok során a jövő légijármű-vezetőinek kiválasztását segítik. Zlin típusok szolgálnak annak eldöntésére, hogy egy repülőgép- vagy helikoptervezető-jelölt alkalmas-e egy légi jármű vezetésére, a kellő időben a szükséges döntéseket meg tudja-e hozni. A repülőgépvezető pályára jelentkező fiatalok repülőorvosi vizsgálaton esnek át, amelyet a Magyar Honvédség Egészségügyi Központ Repülőorvosi-, Alkalmasságvizsgáló és Gyógyító Intézetben végeznek. A vizsgálat célja annak eldöntése, hogy élettani és pszichológiai szempontból a jelölt alkalmas-e a pályára. Ezt követően kezdődhet a felkészítés annak érdekében, hogy egy repülés közben bekövetkező szituáció, esetleg vészhelyzet esetén a repülőeszköz vezetője a helyes döntést meghozza, a megfelelő eljárást alkalmazza. A repülőképzés¹ 45 óra repülési időből tevődik össze, ám a tizennegyedik repült óra után ellenőrző repülésre (check flight) kerül sor, ahol a repülést értékelő oktató eldönti, hogy a jelölt alkalmas-e önálló („safe for solo”) repülés végrehajtására. A kiképzésnek ebben a fázisában a jelölt az alapfeladatokat – indítás, gurulás, fel- és leszállás, iskolakör, légtér feladatok végrehajtása – már biztonsággal képes végrehajtani, illetve egyes vészhelyzeteket a tanultak alapján képes önállóan kezelni, elhárítani az általa hozott döntések alapján. Képes a szituáció felismerésére, és egy általa kiválasztott megoldás teljesítésére, például kényszerleszállás végrehajtására.²

A REPÜLŐGÉP IRÁNYÍTÁSÁNAK MODELLEZÉSE

ELVI ALAPOK

Napjainkban a fejlett tudományos vizsgálatok során a kutatók kénytelenek sztochasztikus, nemlineáris rendszerekkel dolgozni, amelyek paraméter-bizonytalanságot és rendszer-anomáliákat is tartalmazhatnak.

A rendszer aktív, ha a jövőbeni állapotát a pillanatnyi állapot becslése (ún. „szituáció-elemző – döntési – és végrehajtási”) tevékenységi folyamat alapján alkalmazott aktív irányítás határozza meg [6][8][9]. A repülőgép-vezető tehát a rendelkezésre álló információk, és a tudása,



2. ábra. A repülőgép-vezető „döntési folyamata” a gép irányításáról (A szerző szerkesztése)

képességei, valamint a pillanatnyi pszichofiziológiai (leterheltsége és mentális) állapota alapján dönt, és aktívan (a kormánysszervek segítségével) befolyásolja a repülőgép további mozgását.

Amennyiben az aktív irányítás belső elemtől ered, akkor endogén rendszerről beszélünk. Mivel a repülőgép-vezető a repülőgép irányítási (vezetési) rendszerének egyik eleme, az irányítás ezért egy belső rendszerlemtől ered, annak értékelő és döntési képességétől függ, tehát a repülőgép irányítási rendszere egy endogén rendszer.

Ugyanakkor az operátor, azaz a repülőgépet vezető személy, mint a repülőgép irányítási rendszerének egyik eleme, szubjektív döntéseket hoz. A rendszer tehát szubjektív is.

A tanulmány célja az ilyen szubjektív, aktív endogén irányítási rendszerek [6][7][8] vizsgálata, és az eredmények felhasználása a személyrepülőgépek leszállásának elemzésére, a személyrepülőgépek biztonságfilozófiájának a fejlesztésben.

A repülőgép mozgása [10][11][12][13][14][15] függ:

- az aerodinamikai és repüléstechnikai jellemzőktől,
- a zavarásoktól (szél, turbulencia),
- az alkalmazott irányítástól.

A repülőgép-vezető (operator – szubjektum) [7][9][16], Σ ,

- azonosítja és megérti az S_i problémát (szituációt), majd
- az elérhető és lehetséges S_p megoldási módszerekből
- kiválasztja a rendelkezésre álló R^{disp} módszereket,
- döntést hoz, és
- alkalmazza a szükséges R^{req} módszereket, eljárásokat.

(2. ábra)

A repülőgép-vezetők aktív forrásokat (saját pszichofiziológiai adottságaikat, azaz fizikai, intellektuális és mentális képességeiket) alkalmaznak, amelyeket a passzív forrásokból (gazdasági, anyagi, informatikai, energetikai lehetőségeikből) határoznak meg:

$$R_a^{req} = f(R_p^{req}) \quad (1)$$

Az operátor (repülőgép-vezető) tevékenységét a passzív források aktívvá alakításának sebességével (v) is szokás jellemezni:

$$v_a^{req} = f_v(v_a^{req})v_a^{req}, \quad (2)$$

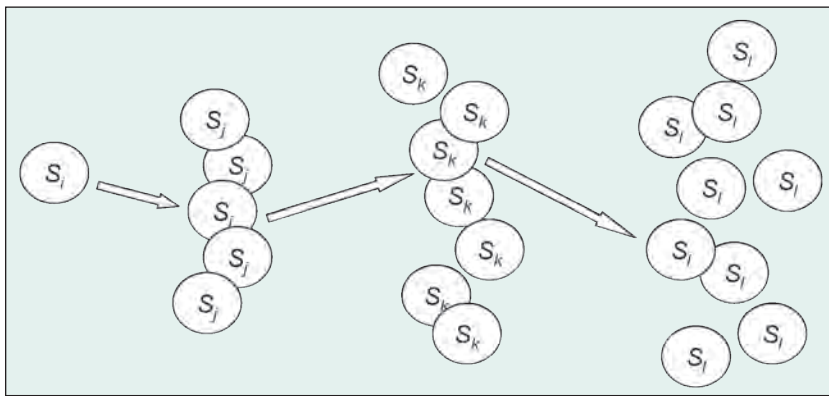
amelyet egyszerűbb alakban is megadhatunk:

$$v_a^{req} = \frac{dR_a^{req}}{dt}, \quad v_p^{req} = \frac{dR_p^{req}}{dt}, \quad f_v = \frac{\partial R_a^{req}}{\partial R_p^{req}}.$$

Két fontos sajátosság definiálható:

- a szituációelemzés – a döntés és beavatkozás folyamatsora függ a repülőgép-vezető fizikai és mentális terhelésétől,
- a válaszidő függ a repülőgép-vezető gyakoroltságától.





3. ábra. A repülőgép-vezetési folyamat, mint szituációk egymásutánisága (A szerző szerkesztése)

SZITUÁCIÓS LÁNC

A repülés során a pillanatnyi állapotot a repülési jellemzők folytonos idejű és folytonos állapotú terében lehet meghatározni. Ez a folytonos – a zavarások és a repülőgép-vezető beavatkozása miatt folytonos sztochasztikus folyamat – időben és állapotterében is diszkrét formában, repülési szituációk egymásutániságaként adható meg. [9][15] A folyamat úgy alakul, hogy a repülőgép-vezető értékeli a pillanatnyi S_j repülési szituációt (3. ábra). Ezután alkalmazza az általa meghatározott irányítást, amelynek – valamint a közben fellépő zavarásoknak – a hatására a repülőgép átvált egy másik S_j repülési szituációba. Ez persze egy sor lehetséges szituációt jelent. A továbbiakban a repülőgép-vezető értékeli és meghatározza a repülőgép új S_j repülési szituációját (állapotát) és ismételten döntést hoz, amelyet alkalmazva a gép átmegy egy következő S_j állapotba. A folyamat így folytatódik tovább. Elvileg a repülési szituációk lehetséges száma egyre nő a repülőgép vezetésével, a repülőgép-vezető azonban – egy idő után – a lehetséges szituációk körét lecsökkentve, elég pontosan képes értékelni a lehetséges szituációt, és képes egyfajta követő rendszerként a repülőgépet a tervezett repülési profilnak megfelelő szituációk sorozatában megtartani.

A szituációk egymásutániságával alkotott lánc matematikai modellje kompakt formában is felírható [7][9][15][16]

$$c(t): (x_0, t_0, \omega(t_f \in [t_0, t_0 + \tau]); R^{disp}(t_0), R^{req}(t_0), \dots), \quad (3)$$

amelynek általánosabb alakja a következő:

$$c(t): (P: \sigma_0(t_0) \rightarrow \sigma_f(t_f \in [t_0, t_0 + \tau]) \in S_f \subset S_a, R^{disp}(t_0), R^{req}(t_0), \dots) \quad (4)$$

ahol x_0 az állapotvektor és a t_0 az idő kezdeti értéke, σ a rendszer állapota az adott t időben, τ az a rendelkezésre álló idő, amely alatt a rendszer új ω állapotba megy át nem később, mint $[t_0, t_0 + \tau]$ alatt, P jelzi azt a feladatot, hogyan menjen át a rendszer egy új $S_f \subset S_a$ lehetséges állapotba a rendelkezésre álló τ idő alatt. Ezt nevezik szituációs láncnak (folyamatnak).

(Folytatjuk)

HIVATKOZOTT IRODALOM

[1] Small Aircraft Transportation System (SATS), The SATS Vision. <http://sats.larc.nasa.gov/main.html> (Letöltve: 2022.6.19.);

[2] Holmes, B.J., Durhan, M.H., Tarry, S.E.: „Small Aircraft Transportation System Concept and Technologies”. *Journal of Aircraft*, Vol. 41, No.1, January-February 2004;

[3] Moore, M. D.: NASA Personal Air Transportation Technologies, http://cafefoundation.org/v2/pdf_tech/NASA.Aeronautics/NasaPavTech.pdf (Letöltve: 2022.9.27.);

[4] Rohacs, J.: PATS, personal Air Transportation System, ICAS Congress, Toronto, Canada, CD-ROM, 2002, ICAS. 2002.7.7.4.1 -7. 7.4.11;

[5] Rohacs, D.: *Non-Linear Prediction Model for the European Small Aircraft Accessibility for 2020*, PhD Thesis, BME, Budapest, 2007.;

[6] Kasyanov, V. A. „Subjective analysis” (in Russian), National Aviation University, Kiev, 2007, p. 512.;

[7] Berger, J. O. *Statistical Decision theory and Bayesian Analysis*, Springer, New York, US, 1985.;

[8] Rohacs, J.: „Subjective Aspects of the less-skilled Pilots, Performance, Safety and Well-being in Aviation”, Proceedings of the 29th Conference of the European Association for Aviation Psychology, 20-24 September 2010, Budapest, Hungary, pp. 153–159.;

[9] Rohacs, J.: „Safety aspects of the personal air transportation system”, 27th International Congress of the Aeronautical sciences, ICAS (International council of the Aeronautical Sciences), 19 - 24 September 2010, Nice, France, ICAS 2010 CD-ROM Proceedings, ISBN 978-0-9565333-0-2, paper No. ICAS2010-10.7.5. p. 12.;

[10] Rácz, E.: „Repülőgépek, egyetemi jegyzet”, Tankönyvkiadó, Budapest, 1978;

[11] Etkin, B., Reid, L. D.: „Dynamics of flight: stability and control” John Wiley and Sons, Inc. 1995;

[12] Stengel, R., F.: „Flight dynamics”, Princeton University Press, 2004;

[13] Lebedjev, A. A., Bobronnikov, V. T., Krasiljsikov, M. N., Maliisev, V. V.: „Statistical Dynamics and optimisation of aircraft control” (in Russian), Masinostroenie, Moscow, 1985.;

[14] Lebedjev, A. A., Bobronnikov, V. T., Krasiljsikov, M. N., Maliisev, V. V.: „Statistical Dynamics of the Controlled Flight”, (in Russian), Masinostroenie, Moscow, 1986.;

[15] Kasyanov, V. A. „Flight modeling” (in Russian), National Aviation University, Kiev, 2004, 400 p.;

[16] Rohacs, J., Kasyanov, V. A.: Pilot subjective decisions in aircraft active control system, *J. Theor. Appl. Mech.*, 49, 1, pp. 175–186, 2011.

JEGYZETEK

- 1 A repüléshez szükséges ismereteket a pilótajelöltek a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar kötelekében, négy éven keresztül sajátítják el. A tényleges repülőképzés az 5–8. félévben történik, de a PPL (Private Pilot Licence – magánpilóta-szakszolgálati engedély) szintnek megfelelő ismereteket a Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszéken már a 4. félévben megszerzik.
- 2 Balla Tibor, Gáspár Tibor: „Zlin Z 242L és Zlin Z 143LSi típusú repülőgépek integrálása a Magyar Honvédség újraindult pilótaképzésébe” *Haditechnika* 55. évfolyam 6. (2021): 38–41. DOI: 10.23713/HT.55.6.07

Dr. Varga Béla*

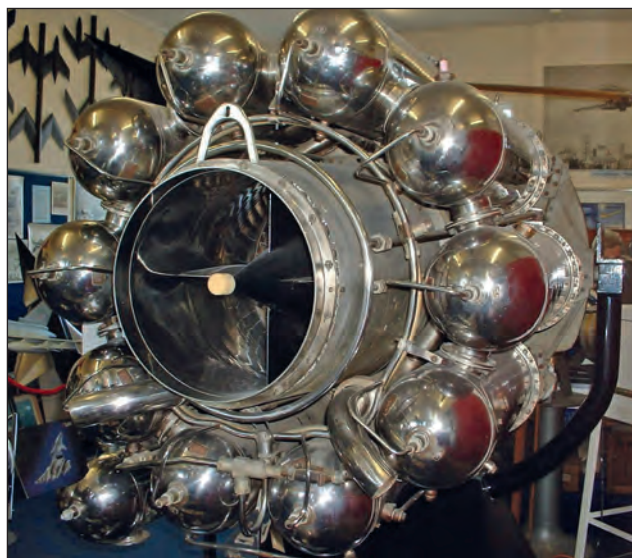
A gázturbinás korszak hajnala és a fejlesztés nehézségei

A II. világháború végére a dugattyús-légcsavaros repülőgépek elérték fejlődésük csúcspontját. Ez azt jelentette, hogy a sebességük valamivel meghaladta a 700 km/h-t. A repülési magasságuk elérte egy átlagos vadászpilóta repülési magasságát, speciális felderítő változatok esetén pedig a 14–15 km-t is. Ezek a korlátok ismertek voltak már a II. világháború előtt is, bár a világháborúba bekapcsolódó országok repülőgépei ekkor még meg sem közelítették ezeket a határértékeket. Aerodinamikai összefüggéseket felhasználva könnyen kimutatható, hogy a szükséges teljesítmény és a sebesség között közbös összefüggés adódik, nem beszélve a többlet fegyverzet tömegnövelő hatásáról, amely szintén többleteljesítményt igényel. Ennek megfelelően több kutató is új irányokba indult a hajtóműfejlesztések területén. Nemzetközi szintéren az angol Whittle¹ munkássága kiemelendő, akinek az 1930-as években elkészített gázturbinás hajtóműve (1. ábra) már

minden olyan gépegységgel rendelkezett, amellyel egy mai modern gázturбина is.

Az első működőképes, repülőgépbe épített gázturbinás sugárhajtómű azonban a Hans von Ohain² által tervezett Heinkel HE S3-as volt. Ezzel a hajtóművel – amelyet egy Heinkel HE 178-as repülőgépbe építettek be –, 1939. augusztus 27-én hajtották végre az első sugárhajtású géppel történő repülést. Ne feledkezzünk meg azonban a magyar Jendrassik Györgyről³ sem. Jendrassik már a Ganz-gyár jeles, nagytekintélyű mérnöke volt, amikor gázturбина-fejlesztéssel kezdett foglalkozni. Az első ilyen tárgyú szabadalmát 1929. március 12-én jelentette be. Az 1938-ban elkészült, közel 75 kW teljesítményű gépe volt az első, gyakorlatban megvalósított gázturбина ilyen kis méretben [2]. Ezekkel az eseményekkel a repülés a gázturbinás korszakába lépett. De az első gázturbinás hajtóművek kifejlesztésének története nem itt kezdődik, hanem itt ér véget, mert a gázturbinák hosszú idő alatt, a technológiai nehézségek miatt több kudarcon keresztül váltak alkalmazhatóvá a gyakorlatban is.

1. ábra. Frank Whittle hajtóműve a Power Jets Whittle 2 (W2), amely az első sorozatban gyártott brit sugárhajtómű volt, és Gloster Meteor sugárhajtású vadászpilóta repülőgépek erőforrásul szolgált [1]



A GÁZTURBINÁK ELMÉLETI ALAPJAI

A gázturbinás hajtóművek a belsőégésű motorok csoportjába tartoznak. A kompresszor és a turbina, valamint közöttük egy égőtér valamennyi gázturbinás hajtómű szerves része, amelyet magnak neveznek. Gyakran gázgenerátornak is hívják ezeket a szerkezetek egységeket, mivel a turbina kilépő keresztmetszetét az itt létrehozott nagy energiájú és nyomású, forró égéstermék hagyja el, amelynek energiáját kiaknáva, hasznos munkát kapunk. De mi is az a hőerőgép?

A 2. ábrát megvizsgálva látjuk, hogy egy termodinamikai körfolyamatot megvalósító szerkezet, amelynek a legfontosabb tulajdonsága, hogy a munkaközeg kezdeti és végállapot-jellemzői megegyeznek, lásd 3. ábra jobb felső nyomás–(faj)térfogat (p–v) diagramja. Ahhoz, hogy a körfolyamat folyamán hasznos munkát nyerjünk a bevitt munka (kompresszió) kisebb kell, hogy legyen, mint a körfolyamat másik szakaszában (expanzió) végzett munka. Ez feltételezi, hogy az expanzió magasabb hőmérsékleten menjen végbe. Az előbbinek megfelelően a munkát adó körfolyamatok forgási iránya az óramutató forgási irányával egyezik

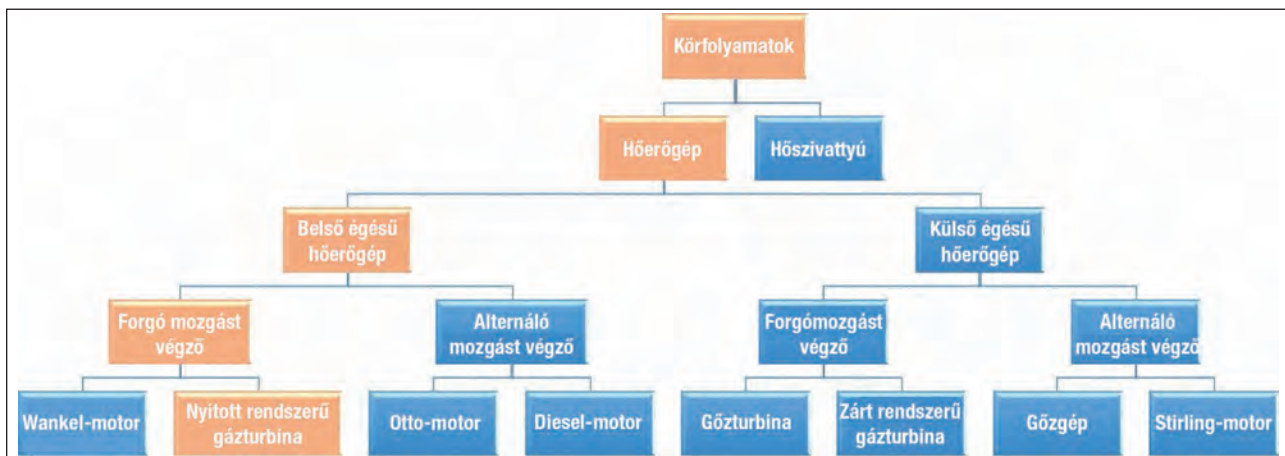
ÖSSZEFOGLALÁS: A 20. század elején a dugattyús motorok már egyre megbízhatóbban és elfogadható hatásokkal működtek. A Bryton- vagy Joule-cikluson alapuló hőerőgép elve szintén ismert volt a 18. század végétől, de az elmélet kezdetben messze felülmúlta a gyakorlatot. Végül az 1930-as évek végére a gázturбина, mint technikai eszköz beérett. A tanulmány ezt a folyamatot mutatja be, és elméleti úton alátámasztja, hogy miért is volt olyan nehéz a gázturbinák megszületése.

KULCSSZAVAK: hőerőgép, termikus körfolyamat, explóziós és állandó nyomású gázturбина

ABSTRACT: In the beginning of the 20th century reciprocating engines already operated more and more reliably and with acceptable efficiency. The principle of a heat engine, based on Bryton or Joule cycle, had also been known since the end of 18th century, but the theory initially far surpassed the practice. Finally, by the end of 1930s the gas turbine had been matured. This paper presents this process and theoretical support why the born of gas turbines was so hard.

KEY WORDS: heat engine, thermal cycle, explosion and constant pressure gas turbine

* Alezredes (PhD), egyetemi docens, NKE Honvédtisztképző és Hadtudományi Kar Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék, ORCID: 0000-0003-3454-0825



2. ábra. A körfolyamatok osztályozása (A szerző szerkesztése)

meg. Természetesen, ha a forgási irány fordított, a bevitt munka nagyobb lesz, mint a körfolyamatból kapott munka. Ezek az ún. hőszivattyúk, pl. a hűtőgép és a légkondicionáló (hűtő-fűtő) berendezések.

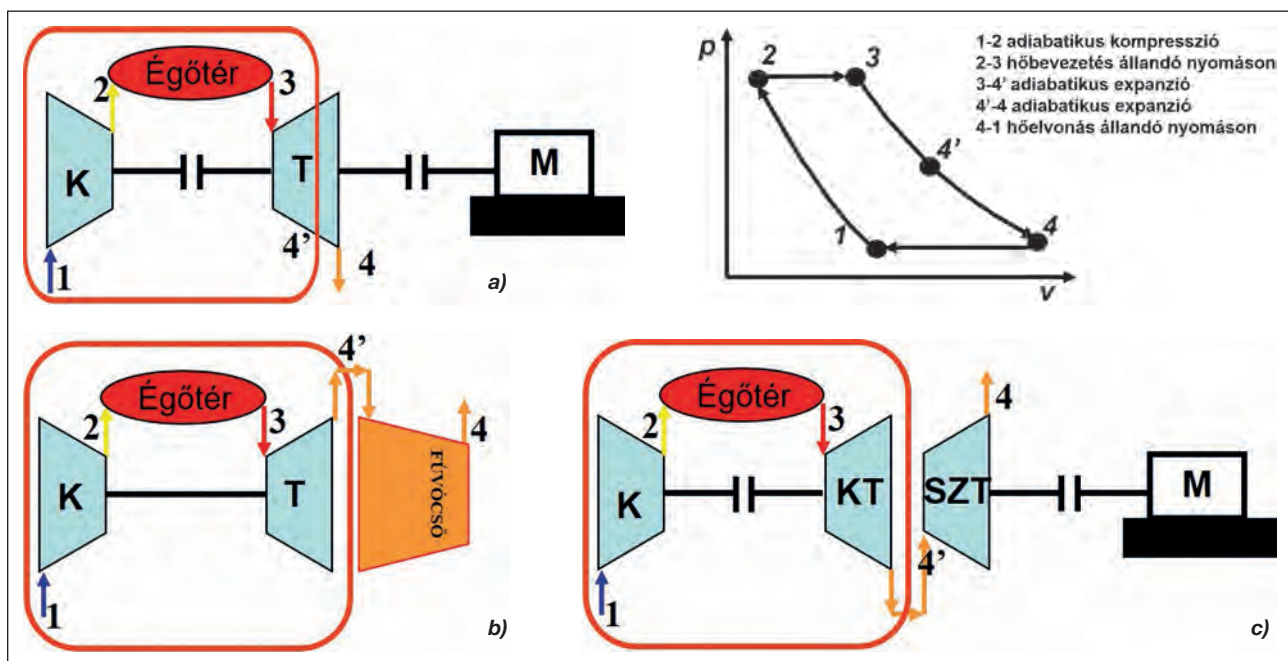
Számos hasznos munkát szolgáló körfolyamatot ismerünk. A teljesség igénye nélkül Otto, Diesel, Rankine (gőzkörfolyamat) és a gázturbina-körfolyamat, amelyet Brayton (néhány forrásban Joule) körfolyamatnak neveznek. Közös jellemzőjük, hogy az ideális körfolyamatok a jól ismert négy állapotváltozásból, izobár (állandó nyomás), izohor (állandó térfogat), izotermikus (állandó hőmérséklet) és adiabatikus (nincs hőcseré a rendszer és környezete között) épül fel.

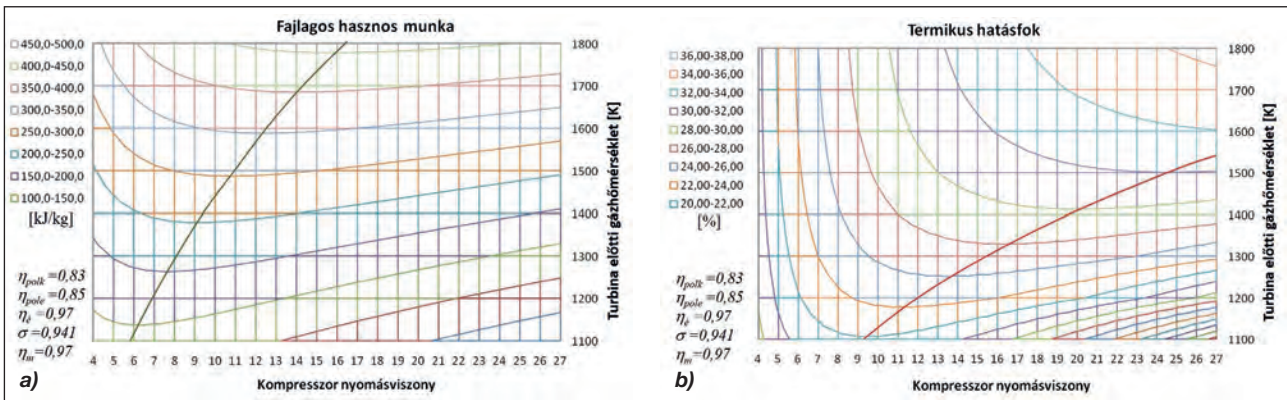
A Brayton-körfolyamat (3. ábra) két adiabatikus és két izobár folyamat összessége. A körfolyamat adiabatikus kompresszióval kezdődik az 1–2 pontok közötti kompresszorban (K). Adiabatikus, mert a folyamat gyorsasága miatt nincs idő a hőcserére a rendszer és a környezete között. Érdemes kiemelni a gázturbinákra jellemző egyik fontos mérőszámot, a kompresszor-nyomásviszonyt. Ez a

kompresszor mögötti és a kompresszor előtti (2-es és az 1-es pontokban) mérhető nyomások viszonyozása. Értékét részben a gázturbina kora, de még inkább a felhasználási területe határozza meg. Manapság ez az érték kb. 10 és 45 között szóródik. A hőközlés az égőtérben izobár folyamat (2–3), amely a tüzelőanyag elégetésével valósul meg. Szintén nagyon fontos a 3. pontban az ún. turbina előtti gázhőmérséklet, amelynek értéke megint csak kor és felhasználási terület szerint 1200–1900 K között szóródik. A felső érték különösen bizonytalan, mivel a legkorszerűbb (katonai repülőgépekben) gázturbinás hajtóművek esetében legtöbbször csak sejtethetjük ezeket az értékeket.

Mindkét jellemzőre mondhatjuk, hogy a megadott értékek valamilyen kiemelt (maximum) közeli üzemállapotra érvényesek (részüzem módon mindkét érték csökken), illetve, hogy ez a két jellemző, kiegészítve a gépegység-hatásfokokkal meghatározza a gázturbina fajlagos hasznos munkáját és termikus hatásfokát, vagyis a legfontosabb jellemezőit.

3. ábra. Különböző egyszerű gázturbinák sematikus ábrái, és a hozzájuk tartozó körfolyamat p-v (nyomás-fajtérfogat) diagramban (A szerző szerkesztése)





4. ábra. A fajlagos hasznos munka, a) és a termikus hatásfok, b) a nyomásviszony és a turbina előtti gázhőmérséklet függvényében (A szerző szerkesztése a [3] alapján)

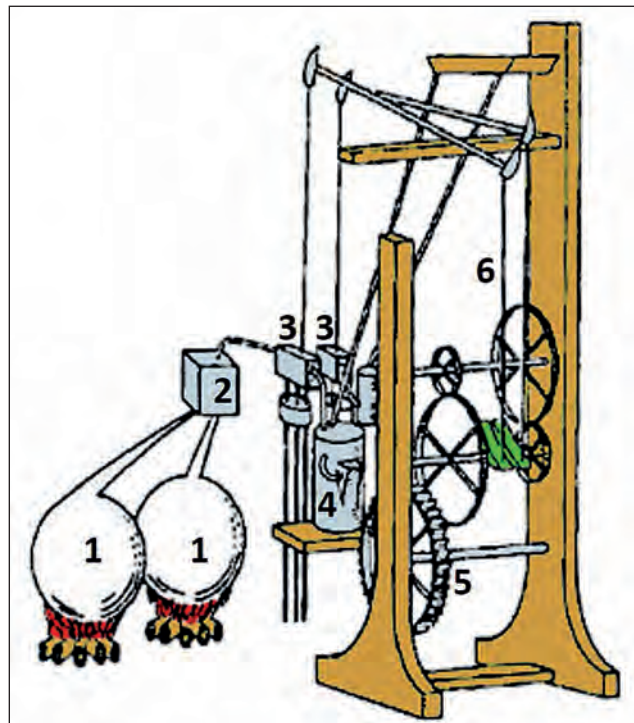
Adott hatásfokértékek mellett a 4. ábra alapján jól szemléltethető a kompresszor-nyomásviszony és a turbina előtti gázhőmérséklet hatása a fajlagos hasznos munkára, és a termikus hatásfokra. A két ferde görbe ugyanakkor megmutatja azokat a nyomásviszony-értékeket, ahol adott turbina előtti gázhőmérséklet mellett a fajlagos hasznos munka (4/a ábra), illetve a termikus hatásfok (4/b ábra) maximális.

A körfolyamat a turbinában (T) munkát adó adiabatikus expanzióval folytatódik, amelynek egy része a kompresszor (és a segédberendezések) forgatásához szükséges munkát biztosítja (3–4’). Eddig a pontig minden gázturbina azonos elvek szerint dolgozik, és a gázturbinának a már említett gázturbinák részét képezi. Ahogy a nevében is benne van, a feladata nagy nyomású és energiateljesítéssel rendelkező gáz (égéstermék) létrehozása, amelynek további hasznosítási módja függ a felhasználás céljától. Erre mutat példákat a 3. ábra a), b) és c) sematikus gázturbina-elrendezése. Maga a termikus folyamat továbbra is adiabatikus expanzió, de az eredmény vagy hasznos munkát (3/a, c ábra), vagy tolóerőt (3/b ábra) ad, de ezeknek valamilyen kombinációja is lehetséges. Tulajdonképpen a hasznos munkának az 1 kg munkaközegre vonatkoztatott, vagyis fajlagos hasznosmunka-értékeit olvashatjuk le a 4/a diagramon. Értelemszerűen, megszorozva a munkaközeg mennyiségével [kg/s], megkapjuk a gázturbina teljesítményét. A 3/a ábra esetében a 4’ pont virtuális, mivel a turbina nem osztott, így a hely sem határozható meg, hogy meddig biztosítja a kompresszor forgatásához szükséges teljesítményt, illetve honnan kezdődik a hasznos munka (M) létrehozása. A 3/c ábra esetében ez egyértelmű, mivel a kompresszorturbina (KT) biztosítja a kompresszor forgatásához szükséges teljesítményt, a hasznos teljesítményt pedig a szabadturbina (SZT) állítja elő. Most már csak zárunk kell a körfolyamatot (4–1), amely a környezetben valósul meg, miközben a forró gáz (égéstermék) izobár folyamaton keresztül átadja a hőjét a környezetnek.

AZ ELMÉLET KÉSZ, DE A TECHNOLÓGIA MÉG NEM ELÉG ÉRETT

Általában az adott körfolyamatok felfedezése jóval megelőzte azok működőképesség megépítését, illetve még inkább ezek gyakorlati hasznosíthatóságát.

Álljon itt egy idézet Jendrassik György egyik előadásából: „A gázturbina problémájával, azaz azzal a problémával, hogy a tüzelőszer elégeése folytán keletkező meleget permanens gázokkal – mint munkaközeggel – turbinában munkává alakítsák át, igen sokan foglalkoztak a közelmúlt

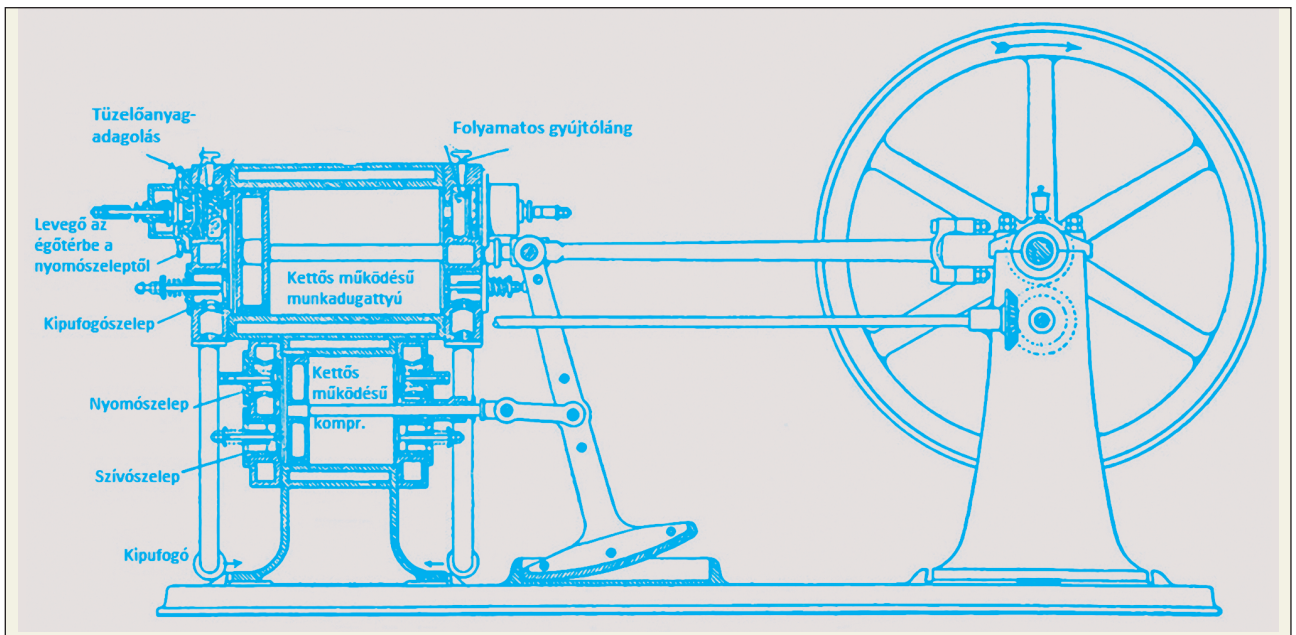


5. ábra. John Barber állandó nyomású hőerőgépének vázlata (A szerző szerkesztése a [4] alapján)

évtizedek folyamán. Az elméleti eredmények messze megelőzték a gyakorlatot, és sokszor az önmagukban helyes elgondolások abban az időben, amikor megszülettek, a technika és a hidrodinamika fejletlensége folytán nem voltak megvalósíthatók. Így a gázturbina legegyszerűbb munkafolyamata, az ún. állandó nyomású munkafolyamat, illetve az ilyen folyamat szerint dolgozó turbina, már a 18. század végén J. Barber szabadalmi bejelentésében, majd a múlt század végén is javaslatba került, amint azt Fullagar, Ghelli és Cazzani, valamint Stolze stb. szabadalmi leírásában megtaláljuk.” [10]

Valóban John Barber (1734–1793) angol feltaláló volt, aki 1791-ben szabadalmaztatta a fenti körfolyamatot, és készítetett egy olyan szerkezetet, amely a leírt folyamaton alapult. A fellelhető 5. ábra és a leírás alapján a szerkezeti egységeket megpróbáltam behatárolni, és számozással azonosítani. Ez alapján Barber fából, szénből, olajból vagy más anyagokból retortában (körte alakú üvegedény) levegő elzárásával hevítve ún. száraz lepárlási folyamattal gázt





6. ábra. Brayton-motor (A szerző szerkesztése a [6] alapján)

nyert (1), amelyet egy tartályban (2) visszahűtött. Ez még nem volt része a körfolyamatnak, csupán a tüzelőanyag előállításaként értelmezhető. A levegőt és a gázt ezután két különböző hengerben komprimálta (3), majd a gáz egy „robbantóba” (égéskamrába) (4) került, ahol megtörtént az égés, majd a forró égéstermék egy lapátkerék (turbina) lapátjaira áramlott (5). A forró égéstermékbe vizet fecskendeztek, részben az égéstermék lehűtésére (a lapátok hőterhelésének csökkentése érdekében), részint, hogy gőzképzéssel növeljék a gázáram tömegét, így növelve a munkavégző képességét. A munkaközéget a lapátkerékre (turbina) vezették, ahol megtörtént az energia munkává alakítása. A lapátkerék tengelyéről történt a dugattyús kompresszorok meghajtása (6), illetve innen történt volna a hasznos munka levétele is. Az elkészített gép akkor technológiai nehézségek miatt működésképtelen volt, de 1972-ben a bonni Kraftwerk-Union AG Barber eredeti tervei alapján elkészítette a működőképes modellt. [4]

A sors igazságtalansága, hogy a körfolyamat mégsem Barber nevét viseli, hanem George Brayton⁴ (1830–1892) feltalálójét. Brayton valóban készített egy belsőégésű motort, amely Barber körfolyamatát valósította meg, de szerkezetileg ez minden szempontból távol állt a mai gázturbi-

náktól. Brayton gépében (Ready Motor) a kompresszió és az expanzió is dugattyús gépegységben zajlott le. A motor meglehetősen sikeres volt, a Brayton „Ready Motors”-okat felhasználták vízvivattyúk, malmok, generátorok és hajók meghajtására. [5]

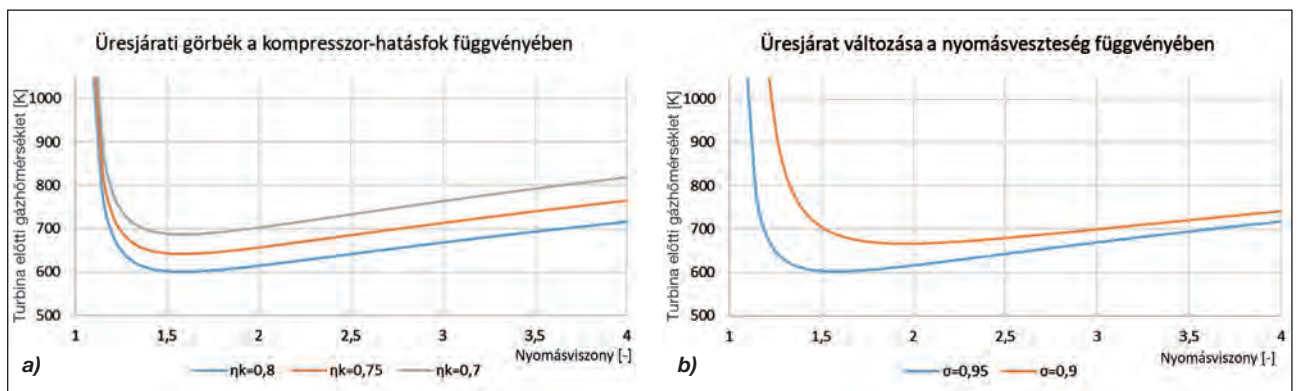
A MŰKÖDŐ GÁZTURBINA FELÉ HALADVA

De a gázturbinát nem a körfolyamat mikéntje teszi gázturbinává, hanem az, hogy ezt a körfolyamatot milyen szerkezeti egységekkel valósítják meg. Ezek pedig a lapátos áramlástechnikai gépek. A XX. század elejére a kutatók ezt felismerték, és a fejlesztések egyre inkább ebbe az irányba indultak el.

1872-ben a német Francz Stolze⁵ nyújtott be szabadalmat gázturbinára. Hőcserélős gázturbinája minden olyan szerkezeti egységgel rendelkezett, amellyel a modern gázturbinák rendelkeznek. [7] Tehát elméletileg minden együtt volt már egy működő gázturbinához.

A működőképesség kérdése a kompresszorhatásfok, a turbinahatásfok, a hajtómű összegzett nyomásvesztési tényezője, a kompresszor-nyomásviszony és a turbina

7. ábra. Üresjáratú üzemi vonal, amely a 4/a ábra szerinti zéró fajlagos hasznos munkát szemlélteti adott komponens-hatásfokok mellett (A szerző számításai és szerkesztése)



előtti gázhőmérséklet ötösfogata körül forgott. Ezek közül is kiemelkedik a kompresszorhatásfok és a turbina előtti gázhőmérséklet kérdése. Általánosan elmondható, hogy a turbinák hatásfoka mindig jobb, mint a kompresszorok hatásfoka. Ennek az az oka, hogy amíg a turbinalapátok között a csatorna legtöbbször szűkülő (reakciós turbinák), de legfeljebb állandó keresztmetszetű (akciós turbinák), amely növekvő áramlási sebességgel jár, és ennek következtében kevésbé érzékeny a számítottól eltérő állapotokra. A fejlesztés során a turbinákkal nem is volt gond, különösen mivel a gőzturbinákkal már jelentős tapasztalat gyűlt össze. Ugyanakkor a kompresszorlapátok között bővülő a keresztmetszet, az áramlás lassuló, és nagyon érzékeny minden számított üzemmódtól történő eltérésre (ennek szélsőséges esete a kompresszorompás⁶). A korabeli kompresszorok, csekély hatásfok mellett alacsony nyomásviszonyt (<2) biztosítottak. A gyenge hatásfokértékek a működéshez szükséges minimális turbina előtti gázhőmérsékletet felfelé tolták, amit azonban a korabeli rendelkezésre álló anyagok nem tettek lehetővé. A 7. ábra vizsgálata jól szemlélteti a problémát. Ehhez érdemes megvizsgálni a gázturbina ún. üresjáratú görbéjét, ahol a gázturbina már működik, de még nem szolgáltat hasznos munkát. Tulajdonképpen a kezdeti fejlesztések során még ennek az állapotnak az elérése is kihívás volt. Feltételezve, hogy a kompresszorhatásfok, a turbinahatásfok és a hajtómű összegzett nyomásvesztései tényezője ebben a sorrendben 0,8; 0,82; 0,95, és felhasználva a gázturbinák termikus összefüggéseit, a kék színnel jelzett, ún. üresjáratú görbét kapjuk. Az alapjárat az üresjáratú görbe egyetlen, többé-kevésbé a legalacsonyabb gázhőmérsékletre tartozó pontja. Láthatólag ehhez a fenti hatásfokértékek mellett (amelyek nem mondhatók nagyon rossz értékeknek) minimum 600 K (327 °C) kellett. A bal oldali ábrán a kompresszor hatásfok- (η_k) csökkenésének eredményét látjuk 0,8-ról 0,75, majd 0,7 értékekre. A kompresszor-karakteristikák jellegét figyelembe véve alapjáraton a 0,7-es kompresszor hatásfokérték sokkal valószínűbb, amely azonnal közel 100 °C-al megnöveli a minimális turbina előtti gázhőmérsékletet. Ugyanakkor az abban az időben népszerű hőcserélős megoldás ugyan javította a hatásfokot, de tovább nehezítette a működőképes gázturbina megteremtését, illetve ha már működőképes volt, csökkentette a hasznos munkát. Ennek az az oka, hogy a hőcserélő mind a hideg, mind a meleg oldalán járulékos nyomásvesztést okoz, növelve a gázturbina összegzett nyomásvesztését. Ennek hatása a 7/b ábrán látszik, ahol a nyomásvesztései tényezőt 0,95-ről 0,9-re módosítva egyrészt a turbina előtti gázhőmérsékletet kell növelni kb. 70 °C-kal, másrészt a nyomásviszonyt szükséges növelni kb. 1,5-ről 2-re a minimális önjáráshoz, illetve mindkettőt még tovább, ha hasznos munkát is szeretnénk nyerni. Ugyanakkor megjegyzendő, hogy ebben az időben a turbinalapátként felhasználható anyagok hőállósága éppen ebben a tartományban volt. Feltételezve a 0,95-ös kiinduló nyomásvesztései tényezőt (az eredeti üresjáratú kék görbe) a barna görbe ebben a helyzetben már hasznos munkát jelentene, hiszen az előbbi extra nyomásvesztés már expanzióként hasznosulhatna kb. 7 kJ/kg fajlagos hasznos munkát adva (10 kg/s-os közegáramot feltételezve ~70 kW teljesítményt). Ebből is látszik milyen vékony jégen jártak a tervezők az első gázturbinák megalkotásakor.

A nehézségek ellenére Jens William Aegidius Elling⁷ norvég kutató 1903-ban megépítette az első, lapátos gépegyeségekkel működő gázturbinát, amely nagyobb teljesítményt termelt (kb. 8 kW), mint amennyi a saját működésének fenntartásához szükséges. Elling gázturbinájában a

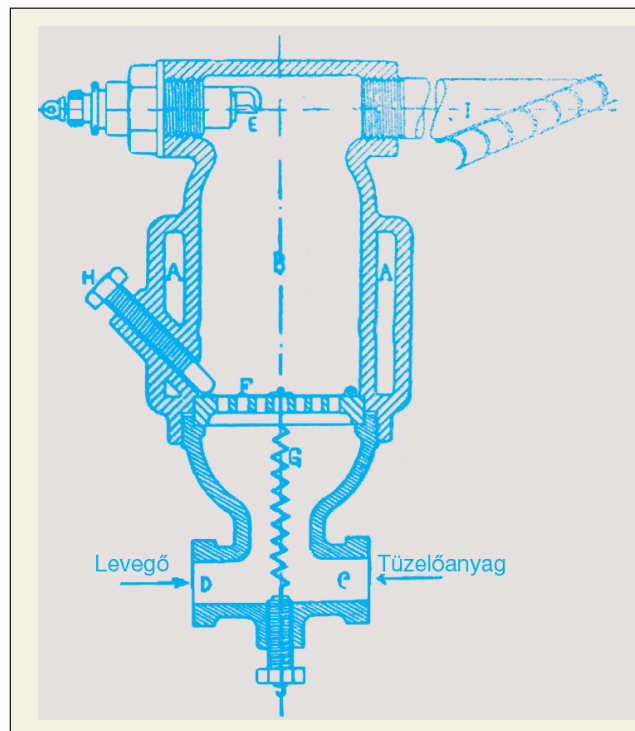


8. ábra. Elling gázturbinája [7]

centrifugálkompresszor által termelt levegő került megcsapolásra, és ezt expandátva kapták a fenti minimális teljesítményt. Ez a megoldás meglehetősen egyedi volt, de még manapság sem példa nélküli. (Az APU⁸-nál előfordul, hogy a kompresszor megcsapolásából származó levegőt használják az indító – általában centripetális – turbina meghajtására.) A többi levegő a szokásos módon az égőtérbe került. Az égőtérből a forró égéstermék egy gőzfejlesztőn (bojler) haladt át, ahol a gáz hőmérséklete csökkent, majd a gázáramba befecskendezett gőzlet az tovább hűtötték 673 K-re (400 °C), arra a maximális hőmérsékletre, amelyet az alkalmazott centripetális turbina elviselt. A befecskendezett gőz a hűtésen kívül a tömegáramot is növelte, ezzel növelve a turbina teljesítményét is. Elling egy későbbi gázturbinája, 1932-ben 75 LE teljesítményre volt képes. A források szerint 71%-os hatásfokú kompresszort és egy 82%-os hatásfokú turbinát alkalmaztak, 550 °C-os turbina előtti hőmérséklet mellett [7].

A kompresszorok továbbra is gyenge hatásfoka arra ösztönözte a mérnököket, hogy valamilyen módon megkerüljék az alkalmazásukat. Ezek lettek az ún. explóziós (izochor hőközlésű) gázturbinák munkafolyamata nem teszi szükségessé kompresszor alkalmazását, hiszen a tüzelőanyag elégeése nem állandó nyomáson, hanem állandó térfogaton történik, amely az égési folyamattal létrehozza a szükséges nyomásnöveke-

9. ábra. A Karavodine-gázturbina fő szerkezeti elemei [8]





10. ábra. A Hans Holzwarth által épített gázturbina. Fent Holzwarth explóziós gázturbinájának kiállított példánya, alul az általa megvalósított körfolyamat p-v diagramja látható [9] alapján a szerző szerkesztése)

dést is. A körfolyamat tulajdonképpen egyfajta ötvözete az Otto- és a Brayton-féle körfolyamatoknak. A keletkező égésgázoknak a turbinába áramlása és expanziója által keletkezett munka, ennek megfelelően már teljes mértékben hasznos munka.

Egyike ezeknek a kísérleteknek a Karavodine gázturbiná⁹, amely négy égőtérrel rendelkezett. Működése rendkívül hasonló volt a későbbi V-1 repülőbombák pulzáló hajtóművéhez. Itt is az égéstermékek túlexpanziójából keletkező vákuum nyitotta a „F” jelű egyirányú szelepet a „G” rugó ellenében. Az égőtér feltöltődött friss keverékkel a „D” és „C” csatornákon keresztül, amelyet az első ütemeknél

az „E” gyújtógyertya, majd pedig a felhevült kamrafal gyújtott be. A gáz utána az impulzus (akciós) turbinára áramlott, biztosítva a munkavégzést. A gázturbina rendkívül gyenge hatásfokot biztosított. Ennek egyik oka, hogy a kamra alsó része ugyan hűtött volt az „A” vízterekkel, de különösen a felső rész forrósága miatt az égőtér töltési foka nagyon alacsony volt. (9. ábra)

Ennek az irányvonalnak Hans Holzwarth¹⁰ volt az egyik legjelentősebb képviselője. A függőleges elrendezésben a vízhűtéses égéstereket, a be- és kilépőszelepekkel a legalsó gyűrűben helyezték el. Középen következett a tényleges turbina (képek alapján valószínűleg akciós turbina) a gázvezető rendszerrel, a generátor pedig a gép tetejére került.

A 10. b) ábra p-v diagramja szerint a körfolyamat első szakasza a (1-2) adiabatikus kompresszió. A bemeneti szelepek kinyitása után a tüzelőanyaganyag és a levegő beáramlik az égésterekbe. A betáplálás kezdetben szinte nyomásmentesen külső ventilátorral, később enyhe túlnyomással, külső kompresszorral történt, amelyet az elvezetett égéstermék által fűtött gőzkazán, illetve gőzturbinára hajtott.

A bemeneti szelepek elzárása után az égésterekben lévő keveréket egy gyújtógyertya meggyújtotta. A hőmérséklet és a nyomás az égéstérben meredeken emelkedett (a kísérleti üzemben a végnyomás értéke 4,5 bar volt).

A kipufogószelepek kinyitása után a forró, túlnyomásos égéstermék az égéstérből egy fúvókán keresztül a turbinába áramlik, ahol a mechanikai munkavégzés során expandál. A teljes expanzió után a forró kipufogógázok a turbinából a légkörbe áramlanak, ahol lehűlnek. Az öblítéshez és a hűtéshez tisztítási ciklust végeznek, amelyben a maradék égéstermék friss levegővel teljesen kifúvatják az égőtérből és a turbinából. Ezzel egyidejűleg a levegőt előmelegítik, és a következő ciklus levegőszükségletét biztosítják. A Holzwarth által 1939-ben elkészített utolsó, 5000 LE (3677 kW) teljesítményű gázturbina üzemanyaghiány miatt csak részterhelésen volt tesztelhető, és végül a második világháborúban, egy bombatámadás során megsemmisült. [8]

A TECHNOLÓGIA UTOLÉRI AZ ELMÉLETET, MEGSZÜLETIK A GYAKORLATBAN IS HASZNÁLHATÓ GÁZTURBINA

Az explozív gázturbinák alkalmazásának periódusa az 1920-as évek végén befejeződött, amikor a turbókompresszorok fejlődését követően az „állandó nyomású” gázturbina egyre inkább fölénybe került. Ezzel lassan a gázturbina eljutott arra a fejlettségi fokra, hogy alkalmazni kezdték az iparban, és a közlekedés minden ágában. Fontos lépcső volt ebben a sorban a világ első ipari gázturbinájának kereskedelmi üzembe helyezése a svájci Neuchâtelben 1939-ben. 1941-ben Jendrassik György tervezésével elkészült három darab JR 300 jelű, 220 kW teljesítményű gázturbina, amelyek közül kettő járművek számára, egy pedig ipari célokra épült. 1943-ban Németországban felmerült a tengelyteljesítményt adó gázturbinák alkalmazásának lehetősége az új fejlesztésű páncélozott járművekben, elsősorban harckocsikban. A tervezett típusok a GT 101-től GT 103-ig jelzést kapták, és Adolf Müller¹¹ nevéhez kapcsolódtak. Alkalmazás szempontjából azonban kiemelkedik a repülés, ahol a következő évtizedekben – a kigépes repülést kivéve – szinte minden repülőgépkategóriában egyeduralkodóvá vált a gázturbinás hajtóművek alkalmazása.

HIVATKOZOTT IRODALOM

- [1] Green, Daniel. The Life of Frank Whittle and His Massive Contribution to Turbomachinery <https://blog.softinway.com/wp-content/uploads/2020/02/The-Power-Jets-Whittle-2.png?54f506&54f506> (Letöltve: 2021.1.22);
- [2] Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatala, Magyar feltalálók és találmányaik: Jendrassik György <http://www.sztnh.gov.hu/feltalalok/jendrassik.html> (Letöltve: 2021.2.17.);
- [3] Varga Béla. *Gázturbinás hajtóművek teljesítmény és hatásfok növelésének műszaki technológiai háttere, és ezek hatása a katonai helikopterek korszerűsítésére*, PhD értekezés, Budapest, 2013, http://uni-nke.hu/downloads/konyvtar/digitgy/phd/2013/varga_bela.pdf, pp. 47–81.;
- [4] Barber, John (engineer) [https://en.wikipedia.org/wiki/John_Barber_\(engineer\)](https://en.wikipedia.org/wiki/John_Barber_(engineer)) (Letöltve: 2022.6.12.);
- [5] Brayton cycle https://en.wikipedia.org/wiki/Brayton_cycle, (Letöltve: 2022.6.12.);
- [6] Brayton double-acting constant-pressure engine cut away 1877 https://en.wikipedia.org/wiki/Brayton_cycle#/media/File:Brayton_double_acting_constant_pressure_engine_cut_away_1877.jpg (Letöltve: 2022.7.1.);
- [7] Development of gas turbines <https://www.britannica.com/technology/gas-turbine-engine/Development-of-gas-turbines#ref134513>, (Letöltve: 2022.7.10.);
- [8] Zsélyi Aladár, A gázturbina. Kísérletek az új hőerőgép megalkotására, „Pátria” Irodalmi Nyomdai Vállalat RT. Budapest, 1913;
- [9] Holzwarth gas turbine - Holzwarth-Gasturbine https://second.wiki/wiki/holzwarth-gasturbine#Aufbau_und_Funktionsweise (Letöltve: 2022.7.10);
- [10] Terplán Zénó. *Jendrassik György* Akadémiai Kiadó Budapest, 1996. 2 pp. 91–92.

JEGYZETEK

- 1 Sir Frank Whittle (Coventry, England 1907. június 1. – Columbia, Maryland, USA 1996. augusztus 8.) angol mérnök, feltaláló és a Royal Air Force tisztje. Maxime Guillaume 1921-ben szabadalmat nyújtott be egy turbóhajtómű elnevezésű találmányra, amely akkoriban technikailag még kivitelezhetetlen volt. Whittle megvalósította a tervet, de sugárhajtóművének gyártása súlyos finanszírozási kérdéseket vetett fel, így csak néhány évvel előzte meg a német Hans von Ohain hajtóműveit. (A szerk.)
- 2 Dr. Hans Joachim Pabst von Ohain (Dessau, Németország, 1911. december 14. – Melbourne, USA, 1998. március 13.) német fizikus, mérnök. Az első repülőgép-sugárhajtómű tervezője volt, találmánya meghajtotta a világ első sugárhajtású repülőgépét, a Heinkel He 178 (He 178 V1) prototípusát 1939 augusztusának végén. (A szerk.)
- 3 Jendrassik György (Budapest, 1898. május 13. – London, 1954. február 8.) Széchenyi-díjas magyar gépészmérnök, feltaláló, az MTA levelező tagja. A dízelmotorok és gázturbinák fejlesztése terén ért el kimagasló eredményeket. (A szerk.)
- 4 George Bailey Brayton (Rhode Island, USA 1830. október 3. – Egyesült Királyság 1892. december 17.) amerikai gépészmérnök és feltaláló, aki alkalmazni kezdte az állandó nyomású motort, amely a gázturbina alapja lett. A motor által megvalósított termodinamikai körfolyamatot Brayton-ciklusnak nevezték el. (A szerk.)
- 5 Dr. Karl Heinrich Franz Stolze (Berlin, 1836. március 14. – Berlin, 1910. január 13.) német feltaláló, fotós, író, aki az első gázturbina és fotográfiai mérési módszerek kidolgozójaként ismert. (A szerk.)
- 6 Kompresszorpompa: a kompresszorban az áramlás részleges vagy teljes összeomlása. Számos kiváltó oka lehet, de a végeredmény minden esetben a kompresszor tömegáram-csökkenése, ezzel az áramlás axiális sebességének csökkenésén keresztül a kompresszorlapátok sebességi háromszögeinek torzulása, és az áramlás leválása. Eredményes védekezés a kompresszor megcsapolásával, az előperditő (ha van) és az álló lapátok elfordításával, illetve a gázgenerátor forgórészeinek szétválasztásával (kétforgórészes hajtóművek) történhet.
- 7 Jens William Ægidius Elling (Norvégia, 1861. július 26. – Oslo, Norvégia, 1949. május 27.) norvég kutató, a gázturbina egyik feltalálója, aki megépítette az első olyan gázturbinát, amely több energiát termelt, mint amennyi a saját alkatrészeinek működtetéséhez szükséges. (A szerk.)
- 8 APU: Auxiliary Power Unit, vagy segédhajtómű, amelyeknek a feladata a repülőgépek fő hajtóműveinek indítása, a fedélzeti elektromos energiarendszer táplálása, a légkondicionáló rendszer levegővel történő ellátása.
- 9 A szerző utalása a szentpétervári (Orosz Birodalom) Victor V. Karavodin 1906-ban bejegyzett, „Pulsejet” című szabadalmára. (A szerk.)
- 10 Hans Theodor Holzwarth (Dornhan, Németország 1877. augusztus 20. – Düsseldorf, Németország 1953. augusztus 21.) német gépészmérnök, aki az első teljesen működőképes gázturbina feltalálójaként vált ismertté. (A szerk.)
- 11 Max Adolf Müller (1898–1965) német gépészmérnök, hajtóműtervező, aki a Junkers és a Heinkel-Hirth cégeknél végzett titkos fejlesztéseket. (A szerk.)

HADITECHNIKA FOLYÓIRAT

Olvasóink figyelmébe!

Tájékoztatjuk Tisztelt Olvasóinkat, hogy a **HADITECHNIKA** folyóirat szerkesztősége új címre költözött.

Székhelyünk és postacímünk:

Zrínyi Kiadó

1087 Budapest, Kerepesi út 29/b

Telefonszám: +3630/773-7494

E-mail: haditechnika@hmzrinyi.hu.

A Haditechnikai magazin digitális változata a laptapir.hu weboldalon is olvasható.

Haditechnika folyóirat összesített tartalomjegyzék, 56. évfolyam, 2022.

Tanulmányok

Prof. dr. Molnár András: Adatfúziós távérzékelési eljárások kis méretű pilóta nélküli légi járművek alkalmazásával	1/2–8	Dr. Palik Mátyás – Dr. Rohács József: UAV, UAS, RPA, drón, robotrepülőgép – új technológiák alkalmazása I. rész	5/19–24
Dr. Földi Ferenc – Lőrincz János – Vígh János: A 84 mm-es Carl-Gustaf HSN többcélú fegyverrendszer II. rész	1/9–16	Dr. Németh András – Virágh Krisztián: Mesterséges intelligencia és haderő – További polgári alkalmazási lehetőségek VI. rész	6/2–7
Dr. Németh András – Virágh Krisztián: Mesterséges intelligencia és haderő – A mesterséges intelligencia fejlődéstörténete I. rész	1/17–22	Dr. Kiss Roland: Oroszország A2/AD képességei III. rész <i>Védelmi feladatok</i>	6/8–14
Dr. Gulyás Attila: Ötödik generációs vezeték, és vezeték nélküli hálózatok egyes modulációs megoldásai I. rész	1/23–27	Ember István: Modern kumulatív töltetek hatékonyságának vizsgálata	6/15–20
Dr. Németh András – Virágh Krisztián: Mesterséges intelligencia és haderő – A mesterséges intelligencia fejlődéstörténete II. rész	2/2–6	Dr. Palik Mátyás – Dr. Rohács József: UAV, UAS, RPA, drón, robotrepülőgép – új technológiák alkalmazása II. rész	6/21–26
Éles Péter: Az 5,56 mm-es CZ BREN 2 gépkarabély	2/7–12	Nemzetközi haditechnikai szemle	
Dr. Gulyás Attila: Ötödik generációs vezeték, és vezeték nélküli hálózatok egyes modulációs megoldásai II. rész	2/13–17	Ocskay István: Az iMUGS PESCO program folytatása Rigában <i>Az integrált, moduláris, vezető nélküli szárazföldi járműrendszer munkacsoport lettországi ülésének eredményei</i>	1/28–31
Ember István – Dr. Kovács Zoltán: Mini drónok lehetséges alkalmazása tüzserész műveletekben	2/18–23	Vincze Gyula: Az MQ–9-es harci drón különleges képességei <i>Precíziós csapásmérés minél távolabbról, minél pontosabban</i>	1/32–35
Végyvári Zsolt: A korszerű harcjárművek áramellátásának sajátosságai I. rész <i>Kiegészítő áramellátás a Magyar Honvédség újonnan beszerzett harcjárműveiben</i>	2/24–28	Dr. Kovács Tünde Anna – Dr. Nyikes Zoltán: Kinetikus és kibereszközök a kritikus infrastruktúra védelmében <i>Nemzetközi konferencia Budapesten</i>	1/36
Dr. Németh András – Virágh Krisztián: Mesterséges intelligencia és haderő – A mesterséges intelligencia területei III. rész	3/2–7	Harald Poecher: Defence Market Trends in the 21st Century and Opportunities for the European Defence Sector	1/37–41
Varga Béla: Az Arriel 2E turboshaft hajtómű, a megbízható erőforrás <i>A Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program helikopterbeszerzései</i>	3/8–14	Ott István Dániel: India katonai atomprogramja, a hadászati triád kiépítésének folyamata I. rész	2/29–34
Vozsech István: A Föld forgásának hatása a lövedékmozgásra I. rész	3/15–20	Ott István Dániel: India katonai atomprogramja, a hadászati triád kiépítésének folyamata II. rész <i>Az indiai haditengerészet első atommeghajtású ballisztikusrakéta-hordozó tengeralattjárójának kifejlesztése</i>	3/26–30
Végyvári Zsolt: A korszerű harcjárművek áramellátásának sajátosságai II. rész <i>Kiegészítő áramellátás a Magyar Honvédség újonnan beszerzett harcjárműveiben</i>	3/21–25	Dr. Kovács Zoltán: Aknatelepítés: Keleten a helyzet jelentősen megváltozott I. rész	3/31–38
Dr. Németh András – Virágh Krisztián: Mesterséges intelligencia és haderő – A mesterséges intelligencia területei IV. rész	4/2–6	Ott István Dániel: India katonai atomprogramja, a hadászati triád kiépítésének folyamata III. rész <i>Az indiai haditengerészet első, hazai tervezésű, atommeghajtású ballisztikusrakéta-hordozó tengeralattjárója</i>	4/26–30
Dr. Kiss Roland: Oroszország A2/AD képességei I. rész <i>A nem létező „buborék” és stratégia</i>	4/7–12	Dr. Kovács Zoltán: Aknatelepítés: Keleten a helyzet jelentősen megváltozott II. rész	4/31–37
Dr. Gulyás Attila: Az 5. generációs telekommunikációs hálózatok fejlesztési irányai I. rész	4/13–19	Harald Poecher: Current Trends in the Austrian Armament Industry <i>Although a small branch of the whole industry, due to excellent products it can survive on the market (Az osztrák hadiipar jelenlegi helyzete)</i>	5/25–30
Vozsech István: A Föld forgásának hatása a lövedékmozgásra II. rész	4/20–25	Ocskay István: Az iMUGS PESCO program folytatása Brüsszelben	5/31–34
Dr. Németh András – Virágh Krisztián: Mesterséges intelligencia és haderő – Polgári alkalmazási lehetőségek V. rész	5/2–7	Tóth András: A Leopard harckocsi magyar típusváltozata: a Leopard 2A7HU	6/27–32
Dr. Kiss Roland: Oroszország A2/AD képességei II. rész <i>Támadó feladatok</i>	5/8–13		
Dr. Gulyás Attila: Az 5. generációs telekommunikációs hálózatok fejlesztési irányai II. rész	5/14–18		

Ocskay István: A Párduc harckocsi újjászületése: a Panther KF51	6/33–39	Tóth Csaba Albert: Integrált lézeres valós szimuláció a Magyar Honvédség kiképzési rendszerében II. rész	4/46–52
Filipovics Alex: Az elektromos és hibrid hajtásláncú személy- és tehergépjárművek alkalmazásának lehetőségei a Magyar Honvédségben I. rész <i>A UniSpace program</i>	6/40–46	Bárány Dániel – Rembeczki Szabolcs: Pilóta nélküli légi járművek repülésbiztonsági kérdései és az azokra adható technikai megoldások lehetőségei	4/53–58
Úrtechnika			
Horváth Attila: Nanoműholdak alkalmazhatósága védelmi és biztonsági célú űrműveletekben II. rész	1/42–49	Dr. Hennel Sándor: Az Airbus H225M helikopter lesz a Mi-8-as váltótípusa	4/59–64
Horváth István: A gammakitörések térbeli eloszlása	2/35–38	Dr. Farkas Csaba – Nagy Attila – Csák Attila: A Protar légvédelmi célrepülőgép fejlesztése Magyarországon II. rész	4/65–72
Dr. Szabó Róbert: Felbocsátották a James Webb űrteljeszkópot	3/39–40	Havrilla Ferenc– Sebők István – Dr. Vég Róbert László: A Gidrán növelt páncélvédettségű harcjármű fegyverzete	5/39–44
Dr. Punczman Ádám Tamás: Az égitestek bányászata I. rész	4/38–45	Kertész József – Dr. Kovács Tünde Anna: Gépjárművek ütközésbiztonsági megbízhatóságának alakulása a járművek korának előrehaladtával	5/45–51
Dr. Punczman Ádám Tamás: Az égitestek bányászata II. rész	5/35–38	Matusz Márk Péter: Egészségügyi vezetési pont működtetésében rejlő potenciális előnyök	5/52–57
Szabó Róbert: Űrtávcsövek reneszánsza	6/47–55	Kakuja Izabella: Unikális magyar módszer a radiológiai helyszínelésben	5/58–62
Hazai tükör			
Ott István Dániel: Konténerek katonai alkalmazásának új lehetőségei I. rész <i>Hazai gyártású összecukható konténerrendszerek a haderőben</i>	1/50–55	Végvári Zsolt – Hegedűs Ernő – Zentay Péter: A 3D-s nyomatás és katonai alkalmazásának lehetőségei I. rész	6/56–60
Prof. dr. Kiss Péter – Kiss Botond Levente – Böröczky András: A terepi járműmozgást befolyásoló tényezők II. rész <i>A talaj mechanikai tulajdonsága és vizsgálata</i>	1/56–59	Dr. Hajdú Ferenc: Triális képzés a had- és hadiipari mérnökök új generációi számára <i>A védelmi innováció kezdete</i>	6/61–63
Dóczy István – Szilák Zsolt: Új képességet kapott a Magyar Honvédség <i>Tábori minősített híradó-informatikai alhálózat</i>	1/60–63	Dr. Rohács József: A személyrepülőgépek biztonsága I. rész	6/64–66
Kelecsényi István: A Magyar Honvédség Polaris MRZR ultrakönnyű harcászati járművei	2/39–44	Haditechnika történet	
Prof. dr. Kiss Péter – Kiss Botond Levente – Böröczky András: A terepi járműmozgást befolyásoló tényezők III. rész <i>A járszerkezet-terep kapcsolatában létrejövő gördülési ellenállás és kerületi erő</i>	2/45–48	Sőregi Zoltán: Kerékpáros csapatok az Osztrák–Magyar Monarchia közös alakulatainak kötelékében II. rész	1/64–67
Ott István Dániel: Konténerek katonai alkalmazásának új lehetőségei II. rész <i>Hazai gyártású összecukható konténerrendszerek a haderőben</i>	2/49–56	Dr. Kovács Csaba: Egy elfelejtett magyar ejtőernyő, a ZF-2	1/68–71
Dr. Farkas Csaba – Nagy Attila – Csák Attila: A Protar légvédelmi célrepülőgép fejlesztése Magyarországon I. rész	3/41–49	Czirók Zoltán: A póttankos haditengerészeti vadászgépek rejtélyei	1/72–75
Tóth Csaba Albert: Integrált lézeres valós szimuláció a Magyar Honvédség kiképzési rendszerében I. rész	3/50–54	Lányi Aladár: A V2 harckocsimotor-család fejlesztésének története I. rész	2/57–61
Prof. dr. Kiss Péter – Kiss Botond Levente – Böröczky András: A terepi járműmozgást befolyásoló tényezők IV. rész <i>A járszerkezet-terep kapcsolatában létrejövő gördülési ellenállás és kerületi erő</i>	3/55–58	Dr. Varga József: A Gamma–Juhász légvédelmi lőelemképzők	2/62–71
Bimbó István: Moduláris katonai konténerlőtér	3/59–67	Druzsinn József: Horváth Ernő repülőgép-konstruktőr, aviatikus	2/72–75
		Lányi Aladár: A V2 harckocsimotor-család fejlesztésének története II. rész	3/68–72
		Druzsinn József: Zsélyi Aladár repülőgép-konstruktőr, aviatikus I. rész	3/73–75
		Druzsinn József: Zsélyi Aladár repülőgép-konstruktőr, aviatikus II. rész	4/73–75
		Dr. Laczik Bálint: A Brennan-torpedó	5/63–69
		Farkas Zoltán: A Hofherr gyár a hadsereg szolgálatában	5/70–75
		Varga Béla: A gáztubina kifejlesztése és továbbfejlesztésének nehézségei	6/67–73
		Az ötvenhatodik évfolyam 2022. évi tartalomjegyzéke	6/74–75

CONTENTS

STUDIES

The artificial intelligence and the armed forces – <i>Domains of artificial intelligence</i> , Part 6	2
Russia's A2/AD abilities, <i>Defence tasks</i> Part 3	8
Investigating the effectiveness of modern cumulative charges	15
UAV, UAS, RPA, drone, cruiser missile – Application of new technologies, Part 2	21

INTERNATIONAL MILTECH REVIEW

Hungarian variant of the Leopard MBT: The Leopard 2A7HU	27
The rebirth of the Panther tank: The Panther KF51	33
The application of electric and hybrid passenger cars and trucks in the Hungarian Defence Forces, <i>The UniSpace programme</i> Part 1	40

SPACE ACTIVITIES

Renaissance of space telescopes	47
---------------------------------	----

DOMESTIC SURVEY

The potential of 3D printing and its military applications, Part 1	56
Triple training for the new generation of military and defence engineers	61
<i>The beginning of defence innovation</i>	61
Safety of passenger aircraft, Part 1	64

MILTECH HISTORY

Difficulties of the development and further development of the gas turbine	67
Table of contents of the fifty-sixth volume, 2022	74

INHALTVERZEICHNIS

STUDIEN

Künstliche Intelligenz und Kriegsmacht – Die Gebiete der künstlichen Intelligenz, Teil VI	2
Russlands A2 / AD-Fähigkeiten, Teil III	8
<i>Verteidigungsaufgaben</i>	8
Untersuchung der Wirksamkeit moderner Hohlladungen	15
UAV, UAS, RPA, Drohne, Roboterflugzeug – Anwendung neuer Technologien, Teil II	21

INTERNATIONALE WEHRTECHNISCHE RUNDSCHAU

Die ungarische Version des Leopard-Panzers: der Leopard 2A7HU	27
Wiedergeburt des Panther-Panzers: der Panther KF51	33
Möglichkeiten des Einsatzes von Pkw und Lkw mit Elektro- und Hybridantrieb in der Ungarischen Armee, Teil I	40

RAUMFAHRTTECHNIK

Renaissance der Weltraumteleskope	47
-----------------------------------	----

HEIMATSCHAU

3D-Druck und seine militärischen Anwendungsmöglichkeiten, Teil I	56
Triale Bildung für neue Generationen von Militär- und Militärindustrieningenieuren	61
<i>Der Beginn der Verteidigungsinnovation</i>	61
Sicherheit von Passagierflugzeugen, Teil I	64

GESCHICHTE FÜR WEHRTECHNIK

Die Entwicklung und die Schwierigkeiten bei der Weiterentwicklung der Gasturbine	67
Inhalt des sechsundfünfzigsten Jahrganges 2022	74

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 oldalán 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 – Könyv- és térképbolt Budapest II., Fillér u. 14.

Levél cím: 1276 Budapest 22, Pf. 85 telefon: +3630-388-4034

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 Könyvárúház, 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 Nkft.

Ügyfélszolgálat

Budapest II., Fillér u. 14.

Nyitvatartás: H.–P. 9:00–16:30 óra

ugyfelszolgalat@hmzrinyi.hu

A címképközpont: Német Leopard 2A7 típusú harckocsi (Forrás: a *KMW engedélyével*)

Borító 2: A Skylark I-LE típusú harcászati felderítő drónokat széles körben használja a Magyar Honvédség. A kis méretű drónok a határvédelemben is támogatják a felderítő munkát (Fotók: *HM Zrínyi Nonprofit Kft. / honvedelem.hu / Kertész László*)

Borító 3: Fent: A német Rheinmetall cég új alapharckocsija, a Panther KF51. A harckocsiparancsnok munkáját fejlett digitális eszközök és szoftverek segítik (Fotó: *Ocskay István*)

Lent: A harckocsi egyik legnagyobb előnye a nagyfokú mobilitás és a könnyű szállíthatóság: átalakítás nélkül befér az AMovP-4L vasúti szállítási mérettartományba (Forrás: a *Rheinmetall engedélyével*)

Poszter: A Leopard 2A7 alapharckocsi (Forrás: a *KMW engedélyével*)

(A típus főbb harcászati-műszaki adatait tartalmazó táblázatot a 29. oldalon közöljük.)



IRANYASEREG.HU

A MAGYAR HONVÉDSÉG KARRIEROLDALA

TARTOZZ KÖZÉNK ÉS
VÁLASZD A BÁTRAK ÚTJÁT!

