

Polgári és katonai repülőterek fenntarthatósági stratégiája

Egyre jobban tudatosul napjainkban, hogy a környezeti hatásokra való kizárólagos összpontosítás már nem elegendő, és a repülőtereknek együtt kell foglalkoznia a három legfőbb fenntarthatósági dimenzióval, a környezeti, a társadalmi és a gazdasági fenntarthatóság kérdéseivel. A tanulmány legfőbb célja, hogy bemutassa az egész iparágra kiterjedő iránymutatásokat, ajánlott intézkedéseket, amelyek segíthetik a repülőtereket fenntarthatóbbá tenni, és indikatív mérőszámokat kínálnak az elért eredmények mérésére és a fejlesztendő területek azonosítására. A tanulmány külön fejezetben kíván kitérni a polgári és katonai kettős felhasználású repülőterek fenntarthatósági kérdéseire.

Kulcsszavak: klímasemlegesség, regionális repülőterek fenntarthatósági stratégiája, szén-dioxid-semleges repülőterek, társadalmi, környezeti és gazdasági fenntarthatósági kezdeményezések

Sustainability Strategy for Civil and Military Airports

Nowadays, it is becoming more and more obvious that focusing exclusively on environmental impacts is no longer enough, and that airports must deal with all the three main dimensions of sustainability, environmental, social and economic. The most important objective of the study is to present industry-wide guidelines, recommended actions that can help airports become more sustainable, and offer indicative metrics to measure achievements and identify areas for improvement. In a separate chapter, the study intends to address the sustainability issues of civil and military dual-use airports.

Keywords: climate neutrality, regional airport sustainability strategy, carbon neutral airports, social, environmental and economic sustainability initiatives

Bevezetés

Hagyományosan a repülőterek fenntarthatósági erőfeszítéseiket működésük környezeti hatásainak minimalizálására összpontosították. Természetesen ez a perspektíva továbbra is kritikus, és folyamatos erőfeszítéseket igényel, különös tekintettel a globális felmelegedés kihívására. Egyre jobban tudatosul azonban, hogy a környezeti hatásokra való

¹ Egyetemi docens, Nemzeti Közszerológati Egyetem Közpénzügyi Tanszék; e-mail: Novoszath.Peter@uni-nke.hu; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8755-6858>.

kizárólagos összpontosítás már nem elegendő, és a repülőtéri ágazatnak átfogó módon kell foglalkoznia a három legfontosabb fenntarthatósági dimenzióval – a környezeti, társadalmi és gazdasági tényezőkkel. Ezért az Európai Repülőterek Nemzetközi Tanácsa (ACI EUROPE)² megalkotta repülőtéri fenntarthatósági stratégiáját, amely az egész iparágra kiterjedő keret és iránymutatásokat ad a jövő fenntartható repülőtérének közös víziója köré rendezve.³ Ez a keretrendszer és útmutatás modern, kiegyensúlyozott üzleti megközelítést vezet be, amely figyelembe veszi a pénzügyi és nem pénzügyi hatásokat egyaránt, és megfelelően igazodik az iparág prioritásaihoz. Mint ilyen ennek a stratégiának elsődleges célja, hogy általános iránymutatást és részletes iránymutatásokat adjon az európai repülőtér-üzemeltetők fenntarthatósági törekvéseihez. Meghatározza azokat az ajánlott intézkedéseket, amelyek segíthetik a repülőtereket fenntarthatóbbá válni, és indikatív mérőszámokat kínál az elért eredmények mérésére és a további előrelépésre szoruló területek azonosítására.

Tekintettel a téma kiterjedtségére és az európai repülőterek sokféleségére, a fenntarthatósági stratégia (a továbbiakban: Stratégia) nem ad kimerítő és előíró jellegű listát minden, a fenntarthatósággal kapcsolatos tevékenységről és mérőszámról, amelyet a repülőterek esetleg be kívánnak vezetni. Például, bár elismeri, hogy az olyan területek, mint a műveletek biztonsága és általában a biztonság, kulcsfontosságú összetevői a repülőtéri fenntarthatóságnak, ezekre a stratégia nem terjed ki, mivel ezeket szigorúan szabályozzák a meglévő nemzetközi keretek és szabványok. A stratégia azokra a területekre összpontosít, ahol az ACI EUROPE jelentős potenciált lát abban, hogy a repülőterek ambíciózusabbak lesznek, és fokozzák erőfeszítéseiket, különösen a szabályozási követelményeken túlmutató önkéntes intézkedések végrehajtásával.

Globális fenntarthatósági szabványok

A fenntarthatóság közös nyelvét az Egyesült Nemzetek Szervezete (ENSZ) által 2015-ben elfogadott 17 fenntartható fejlődési cél (SDG) határozza meg (1. ábra):⁴

Az ENSZ számára a fenntartható fejlesztési célok széles körű terjesztése és ezzel párhuzamosan azok megvalósítása vált elfogadottá, ami a fenntarthatóság egyik fő építőköve világszerte. A legfontosabb összetevői ennek: lényeges elemzések készítése a prioritások meghatározásához, azok felhasználása olyan stratégiai és jelentési szabványokhoz, mint például a Global Reporting Initiative (GRI), a harmadik felek biztosítékainak bevonása a közzétételek érvényességének növelésére és a fenntarthatósági eredmények előrettekintő tervezése a Nemzetközi Integrált Jelentéstételi Tanács (International Integrated Reporting

² Az Airports Council International weboldala: <https://aci-europe.org/>. Az ACI EUROPE az Airports Council International (ACI) európai régiója, amely a repülőtér-üzemeltetők egyetlen nemzetközi szakmai szövetsége.

³ Airports Council International (2020): *Sustainability Strategy for Airports*. Second Edition – November 2020.

⁴ United Nations [é. n.]: *A Global Compact for Sustainable Development*.

Council – IIRC) hat tényezőjével⁵ összhangban. Ezen kereten keresztül a repülőterek általában összefüggésbe tudják hozni fenntarthatósági tevékenységeiket a fenntartható fejlődési célokkal és a GRI fenntarthatósági jelentési irányelveivel és annak repülőter-üzemeltetőkre vonatkozó ágazati mellékleteivel (AOSS).⁶



1. ábra: Az Egyesült Nemzetek Szervezete által elfogadott fenntartható fejlődési célok (SDG-k)

Forrás: ENSZ Fenntartható Fejlődési Célok (Sustainable Development Goals, SDGs) [é. n.]

SDG 13: klímapolitika

A repülőterek helyi sajátosságaitól függően különböző prioritásokat határoznak meg, azonban a 13. SDG – klímapolitika – világszerte vitathatatlan jelentőséggel bír. Ez különösen igaz a párizsi klímapegállapodás elfogadása (2015. december) óta, amely a globális felmelegedés 2 °C-kal, ideális esetben 1,5 °C-kal való korlátozását tűzte ki célul, hogy megelőzzék a bolygónkra és az emberiségre nézve katasztrofális következményeket. Az éghajlatváltozással foglalkozó kormányközi testület (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) 2018 októberében kiadott különjelentése kiemelte a válaszadás sürgősségét arra, amit ma klímavészhelyzetként emlegetnek. Ez a jelentés sürgős és drasztikus lépésekre szólít fel a globális korlátozások érdekében a globális felmelegedés párizsi megállapodásnak megfelelő csökkentésére, beleértve a „példátlan és nagymértékű szén-dioxid-kibocsátás csökkentését minden ágazatban”, hogy a globális kibocsátás 2030-ra 45%-kal csökkenjen, és 2050-re elérje a nettó nulla értéket. Ezekkel a megállapításokkal összhangban 2019 decemberében az Európai Bizottság (EB) bejelentette azt

⁵ Ez a hat tényező a következő: pénzügyi, infrastrukturális, szellemi, emberi, társadalmi és természeti. További információkért lásd International Integrated Reporting Council (2013b): *Capitals. Background Paper for <IR>*.

⁶ *Sustainability Reporting Guidelines & Airport Operators Sector Supplement* [é. n.].

a célt, hogy Európa legyen az első klímasemleges kontinens 2050-re, amelyet példátlan új politikai stratégia, az európai zöld megállapodás valósítana meg.

SDG 3: jó egészség és jó közérzet

Bár a klímavészhelyzet továbbra is az emberiség legnagyobb kihívása, 2020-ban újabb súlyos válság sújtotta a világot: a Covid–19-világjárvány. Amellett, hogy páratlan egészségügyi válsághoz, példátlan természetű gazdasági és társadalmi zavarokhoz vezetett világszerte, amelyek teljesen még nem mérhetők. Ez az új helyzet a 3. SDG-t – a jó egészséget és a jó közérzetet – minden fenntarthatósági stratégia egyik legfontosabb prioritásává teszi. A repülőterek számára ez azt jelenti, hogy nagyobb hangsúlyt kell helyezni a biztonságra, az egészségre és a repülőtéri élményt szolgáló intézkedésekre, valamint egy új kategória elismerésére – ez az utasok egészségének megőrzése lenne. Ami egyúttal arról is szól, hogy egészséges munkakörnyezetet kell biztosítani a repülésben dolgozó munkatársak és a telephelyeken működő harmadik felek alkalmazottai számára is. Végül, de nem utolsósorban arról is, hogy keresni kell a közegészségügy és a közbiztonság támogatásának módjait a repülőtér kerítésén túl is.

Gyorsabb kilábalás a Covid–19-járványból, a fenntartható kilábalás felé

A Covid–19-válság alapvető kérdéseket vetett fel társadalmainkkal, gazdasági és politikai rendszereinkkel kapcsolatban, és új kontextusba helyezi a repülőterek fenntarthatóságáról szóló vitákat. Sok repülőtér küzd azért, hogy túlélje a gazdasági visszaesést, és szenvednek az erőforrások elérhetőségének hiánya miatt, többek között éppen a fenntarthatóság megteremtése érdekében végzett munkájuk során. Mindez nagy veszélybe sodorhatja az elmúlt évek eredményeit és a jövőre vonatkozó terveket is. Mindazonáltal az is világos, hogy a fenntarthatóságnak továbbra is a repülőterek napirendjén kell maradnia, mivel a jelenlegi válság lehetőséget kínál a meglévő struktúrák és gyakorlatok kritikus újraértékelésére, és a világ – és a légi közlekedési ágazat – magasabb szinten történő újrapozicionálására. Fenntartható fellendülésre van szükség az ágazat életképességének megőrzésére és a szükséges tökebevonások lehetőségeinek növelésére.⁷

A jövő fenntartható repülőtérének kiegyensúlyozott üzleti modellre kell épülnie

A repülőterek üzemeltetőinek továbbra is el kell látniuk alapvető funkciójukat a repülőtéri szolgáltatások összes meglévő területén – leszállás, parkolás, utasok és áruk be- és kiszállása, terminálok, logisztikai központok és poggyászcarnokok stb. üzemeltetése, az ezekhez kapcsolódó infrastruktúrák és szolgáltatások magas színvonalon tartása,

⁷ Airports Council International 2020.

valamint olyan árstratégia alkalmazása, amely ösztönzi a légi járművek csendesebb és tisztább működését. Annak szellemében, ahogy azt a repülőtéri díjak környezetvédelmi célok megvalósítása érdekében való áthangolásáról szóló ACI EUROPE tájékoztató dokumentum is felvázolja.⁸ Hasonlóképpen, a repülőterek üzemeltetőinek törekedniük kell annak biztosítására, hogy a repülőtéri szolgáltatások nyújtásának teljes költségét a repülési díjakból fedezzék. E költség-bevétel egyensúly biztosítása különösen fontos lesz a Covid–19 után fejlődő légi közlekedési piac összefüggésében, és kulcsfontosságú a repülőterek fenntarthatósági beruházási kapacitásának megőrzésében. Ezen elképzelés alapján a jelenlegi stratégia átfogó „kiegyensúlyozott üzleti modell” alapjaira támaszkodik (2. ábra). Az IIRC a repülőterek üzleti modelljét a következőképpen határozza meg: „az inputokat üzleti tevékenységein keresztül outputokká és eredményekké alakítja, amelyek célja a szervezet stratégiai céljainak teljesítése és értékteremtés rövid, közép- és hosszú távon.” Ahhoz, hogy ezek a szervezetek célorientált vállalkozások legyenek, a repülőtereknek törekedniük kell arra, hogy kiterjesszék az értékteremtés megközelítését, és kiegyensúlyozott üzleti modellt alakítsanak ki, azaz a gazdasági, társadalmi és környezeti hatásaik közötti optimális egyensúlyra törekedjenek.⁹ E cél elérése érdekében tevékenységük belső és külső költségeit, valamint a létrehozott társadalmi, gazdasági és környezeti értéket fel kell mérni, és a stratégiai döntéshozatalban tükrözni kell, megfelelő irányítási struktúrával támogatva.

Környezeti hatások	Társadalmi hatások	Gazdasági hatások
Klímaváltozások A helyi levegő minősége Anyagi erőforrások Víz Biológiai sokféleség	Emberi jogok, értékek és etika Zaj és a helyi közösségek életminősége Alkalmazottak tapasztalata és elkötelezettsége A szolgáltatások minősége és az utasok élményei	Gazdasági fejlődés Fenntartható ellátási lánc Fenntartható úti célok Intermodalitás

2. ábra: Az új fenntartható kiegyensúlyozott üzleti modell fő pillérei

Forrás: a szerző szerkesztése az Airports Council International 2020: 16. alapján

Az integrált teljesítménymenedzsment keretet biztosít ennek a folyamatnak a támogatására; olyan szervezeti teljesítménymenedzsmentre vonatkozik, amely a környezeti és társadalmi szempontokat integrálja az üzleti stratégia kidolgozásába, amelyet egy sor

⁸ Airports Council International Europe (2020): *Information on the use of modulations of airport charges for environmental reasons*. Brussels.

⁹ Az üzleti modell meghatározásával kapcsolatos további információkért lásd például az integrált jelentéskészítés üzleti modelljének háttérét: International Integrated Reporting Council (2013a): *Business Model. Background Paper for <IR>*.

KPI (*Key Performance Indicator*, kulcs-hatékonyságimutató) támogat.¹⁰ Ha egy szervezet meghatározta saját küldetését és céljait, akkor szükséges, hogy mérni lehessen a cél eléréséért tett erőfeszítéseket és az előrehaladását ezen. Ebben segítenek a KPI-k.

Ezenkívül fontos felismerni, hogy a repülőtér repüléstechnikai infrastruktúrája hosszú távra épül. Például egy futópálya alapamortizációs profilja 50+ év. A repülőterek üzleti terveit és a repüléstechnikai infrastruktúrára vonatkozó elemzéseket folyamatosan frissíteni kell, hogy azok tartalmazzák a költségek hosszú távú becsléseit és az értékelés változásait, beleértve azokat is, amelyek a társadalmi és környezeti trendekből – például a változó éghajlatból vagy a változó keresleti szokásokból – erednek. A repülőterek a repülési és nem repülési szolgáltatások nyújtása során új üzleti modelleket hozhatnak létre, például amelyek a különböző érdekelttek közötti megosztott erőforrásokra (például berendezések) vagy a „termék mint szolgáltatás” megközelítésre támaszkodnak. A repülőterek üzemeltetői arra is törekedhetnek, hogy tevékenységük pozitív hatásait a repülőtéren túlra is kiterjesszék, például az induló vállalkozások támogatásának módjainak feltárásával, ezáltal elősegítve az innovációt, vagy együttműködnek a helyi beszállítókkal és üzleti partnerekkel, hozzájárulva munkahelyek teremtéséhez vagy biztosításához a helyi közösségben. Ez utóbbi különösen fontos a Covid-19-ből való kilábalás összefüggésében. A fenntarthatósági megközelítés a repülőtéri hatások átfogó értékelésének elindítására összpontosít a nem pénzügyi tőkéről és azok optimalizálásának módjairól.¹¹

Nemzetközi kezdeményezések a repülőtér fenntarthatóságáért

Mivel a környezetvédelmi kérdéseket már nem lehetett figyelmen kívül hagyni, a nemzetközi légi közlekedési szervezetek beavatkoztak a fennálló folyamatokba, és olyan programokat, valamint szabályozásokat hoztak létre, amelyek fő célja a környezeti hatások csökkentése, ugyanakkor a légi közlekedés magas, stabil szintjének és gazdasági növekedésének fenntartása.

Repülőtéri akkreditációs program a szén-dioxid-kibocsátás csökkentésére

A repülőtéri akkreditáció a szén-dioxid-kibocsátás csökkentésére nemzetközi program, amelyet az európai repülőterek kereskedelmi szervezete, az ACI EUROPE indított el 2009-es éves kongresszusán. Ez olyan globális kezdeményezés a repülőterek számára, amely túlmutat a forgalomelosztó (*hub*) és regionális repülőtereken, kiterjed az összes menetrend szerinti utas- és áruforgalmat lebonyolító repülőtérre, beleértve az általános repülésre (*general aviation*) és a kizárólag árufuvarozásra fókuszált repülőtereket is.¹²

¹⁰ További információkért lásd például WBCSD FLP 2014–Accenture–Integrated Performance Management (2014). *World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)*, 2014. december 21.

¹¹ Airports Council International 2020.

¹² *Airport Carbon Accreditation. Airports Responding to Climate Change* (2020). (6).

A repülőtéri szén-dioxid-akkreditáció az egyetlen intézményileg jóváhagyott, globális szén-dioxid-gazdálkodási tanúsítási program azon repülőterek számára, amelyeknek a repülőtér-specifikus szén-dioxid-szabványai nemzetközileg elismert módszereken alapulnak. Függetlenül értékeli és elismeri a repülőterek szén-dioxid-kibocsátásuk kezelésére és csökkentésére irányuló erőfeszítéseit a tanúsítási szintek révén. Az elérhető szint a repülőtér környezeti hatásának jelenlegi szakasza és szén-dioxid-gazdálkodása függvényében változik. A tanúsításnak hat szintje van:

- Feltérképezés – amely magában foglalja a szénlábnyom mérését.
- Csökkentés – szén-dioxid-gazdálkodás és haladás a csökkentett szénlábnyom felé.
- Optimalizálás – amely harmadik fél bevonására terjed ki a szénlábnyom csökkentésébe, amely magában foglalja a légitársaságokat és a különböző szolgáltatókat, és egyúttal a felületen való érintkezési és hozzáférési módokat a hatóságokkal és a felhasználókkal.
- Semlegesség – a megmaradt szén-dioxid semlegesítésére terjed ki.
- Átalakítás – a repülőtér és üzleti partnerei működésének átalakítását jelenti a kibocsátáscsökkentés lehetséges legnagyobb értékének elérése érdekében.
- Átmenet – a maradék kibocsátás kompenzációja megbízható ellentételezésekkel.

Jelenleg, 2022 augusztusában már Európában 76 repülőtér térképezte fel szén-dioxid-kibocsátásának lábnyomát, 46 repülőtér vezetett be intézkedéseket szén-dioxid-kibocsátásának csökkentésére. 19 repülőtér csökkentette szén-dioxid-kibocsátását, és másokat is bevont ebbe. 37 a szén-dioxid-semleges repülőterek száma Európában. Ma már 13 olyan repülőtér van Európában, amely összehangolta szén-dioxid-gazdálkodását a globális éghajlati célokkal. 19 repülőtéren történt átalakítás a további maradék emisszió kompenzálására. A fentiek összességében az összes utasforgalom 73,1%-át érintik.¹³

Egyéb nemzetközi repülési kezdeményezések a repülőterek fenntarthatóságáért

A Szövetségi Légi Közlekedési Hivatal (FAA)¹⁴ 2011-ben kísérleti programot indított, amelynek fő célja az volt, hogy a fenntarthatóságot a repülőterek tervezésének alapvető célkitűzésévé tegye. 2012-ben az FAA közzétette a légi közlekedési környezet- és energiapolitikai nyilatkozatot, amely azonosítja és megerősíti elkötelezettségét a környezetvédelem mellett, ami lehetővé teszi a légi közlekedés fenntartható növekedését. Az FAA környezetvédelmi politikáját és útmutatóját folyamatosan frissítik és felülvizsgálják.¹⁵ Az FAA által működtetett programok, például a zajkompatibilitási

¹³ Accredited airports [é. n.]. *Airport Carbon Accreditation*.

¹⁴ A Federal Aviation Administration az Egyesült Államok Közlekedésügyi Államtitkárságának Légügyi Hivatala, amely felelős a polgári repülés minden vonatkozásának szabályozásáért az Egyesült Államokban. Weboldal: <https://faa.gov/>

¹⁵ Federal Aviation Administration (2012): *Aviation Environmental and Energy Policy Statement*. Department of Transportation Federal Aviation Administration.

program és az önkéntes repülőtéri alacsony kibocsátás (VALE) programja, segítik a repülőtereket e célok elérésében. A repülőterek fenntarthatósági tervei ezeket az erőfeszítéseket veszik figyelembe a fenntarthatóság repülőtér-tervezésbe való teljes körű integrálásával.¹⁶

A Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet (ICAO) háromévente felülvizsgálja, és frissíti vonatkozó irányelveit és gyakorlatait a környezetvédelemre. Az ICAO tanácsa 2015-ben elfogadta környezetvédelmi stratégiai célkitűzéseit is, amelyek legfőbb célja a polgári légi közlekedési tevékenységek káros környezeti hatásainak minimalizálása.¹⁷

Az EUROCONTROL két fontos jelentést tett közzé a légi közlekedés fenntarthatóságáról szóló vitával kapcsolatosan. Az első a hosszú távú légi forgalmi előrejelzés (EUROCONTROL Aviation Outlook 2050 – EAO 2050),¹⁸ amely 2050-re 16 millió járatot jósol, és ebben első alkalommal becsülték meg a nettó CO₂-kibocsátást, és elemzik, hogy hogyan érheti el a légi közlekedés 2050-re a nettó nulla kibocsátást. A második az Objective Skygreen-jelentés,¹⁹ amely dokumentumban összefoglalják az EAO 2050-ben felvázolt közlekedési forgatókönyveket, és részletesebben megvizsgálják azokat az elemeket, amelyek a kibocsátás csökkentését eredményezhetik a szén-dioxid-mentesítéshez szükséges többletköltségekre összpontosítva.

Az Európai Unió Repülésbiztonsági Ügynöksége (EASA) egyik küldetése a fenntarthatóság magas szintjének elérése és a repülőtéri környezeti hatások csökkentése. Ez magában foglalja a zajcsökkentést, a levegőminőség javítását és az éghajlatváltozás mérséklését. Az EASA többek között elkészíti az európai légi közlekedési környezeti jelentést, amely pontos információforrást biztosít az európai légi közlekedési ágazat környezetvédelmi teljesítményéről.²⁰

Az épületkutatási létesítmény környezeti vizsgálati módszere, a BREEAM²¹ nemzetközi szabvány, amely bármely épülettípus igényeihez igazítható, beleértve a repülőtereket is. Tanúsítási folyamatot biztosít, amelynek fő célja az építészeti projektekkel kapcsolatos döntések koordinálása annak érdekében, hogy jobb fenntarthatósági eredményeket érhessenek el.

Az építőmérnöki környezeti minőségértékelési és díjrendszer (CEEQUA)²² az infrastruktúra fenntarthatósági minősítési rendszere, amelynek célja a mélyépítési projektek fenntarthatóságának javítása. A polgári és katonai repülési ágazatban is használják a repülőtéri létesítmények széles körének értékelésére, beleértve a futópályákat,

¹⁶ Voluntary Airport Low Emissions Program (VALE) [é. n.]. *Federal Aviation Administration*.

¹⁷ Annual Report of the ICAO Council: 2015. Strategic Objectives: Environmental Protection [é. n.]. *ICAO*.

¹⁸ EUROCONTROL (2022a): *Aviation Outlook 2050. Main Report*.

¹⁹ EUROCONTROL (2022b): *Objective Skygreen 2022-2030: The economics of aviation decarbonisation towards the 2030 Green Deal milestone*.

²⁰ Az EASA weboldala: <https://easa.europa.eu/>

²¹ A BREEAM, amelyet először az Building Research Establishment adott ki 1990-ben, a világ legrégebben bevezetett módszere az épületek fenntarthatóságának értékelésére, minősítésére és igazolására. BREEAM [é. n.]. *Wikipedia*.

²² A CEEQUAL a nemzetközi, bizonyítékokon alapuló fenntarthatósági értékelési, minősítési és díjrendszer a mélyépítés, az infrastruktúra, a tereprendezés és a közterületi munkák területén.

a gurulóutakat, a forgalmi előtereket, a parkolóhelyeket és az üzemeltetés során használt eszközöket is.

Fenntarthatósági kérdések a katonaságnál

A fenntarthatóság a katonai kiképzés, hadműveletek és létesítmények jövőbeli tervezése körüli vita központi témájává válik. Az egyre növekvő energiaigény és a lakosság nyomása a kibocsátás csökkentésére és az újrahasznosíthatóság javítására felveti a kérdést, hogyan lehet megfelelni a fenntarthatósági követelményeknek, miközben javítani kell a katonai erő képességeit. Ez a fejezet hangsúlyozza annak szükségességét, hogy megértsük a fenntarthatóság geneziséét, és egyúttal megvizsgáljuk a fejlődés kilátásait.²³

Amikor a hadseregben a fenntarthatósági kérdésekről beszélnek, mindenekelőtt a fenntartható energiafogyasztás kerül előtérbe. A fenntartható energiafogyasztás hosszú távú stratégiai nézete a katonai tervezés szerves részévé válik, mivel az energetikai kezdeményezések a missziós képességekhez kötődnek. A fenntartható energiafelhasználással kapcsolatos felfogás növekedésével párhuzamosan a katonai tevékenységekhez kapcsolódó egyéb környezeti kérdések is egyre inkább felkeltik a kutatók és a gyakorlati szakemberek érdeklődését. Az adatok bizonyítékot szolgáltatnak arra, hogy a fegyveres erők a Föld legnagyobb szennyezői közé tartoznak.²⁴ A katonai bázisok talajszennyezése, amelyet az üzemanyag-vezetékek szivárgása, a szállítási balesetek, valamint a vegyi harci szerek használata okoz, aggodalomra ad okot, különösen akkor, ha a katonai lőtereket visszaadják nem katonai szervezeteknek.²⁵

Ugyanakkor a katonaság gazdasági és társadalmi hatással van a helyi közösségekre, mivel a katonai bázisok és logisztikai hálózatuk katalizálja a regionális gazdasági és társadalmi fejlődést. Ami a hadsereg szerepét illeti a támadások elleni hadműveletekben, az közvetlenül kapcsolódik a munkahelyteremtéshez.²⁶ A katonaság a pozitív gazdasági hatás mellett kevésbé kedvezően hathat a társadalmi fenntarthatóságra. A bázisok és a gyakorlóterek akár jelentősen is átalakíthatják egyes városok infrastruktúráját, az adott országban található nagy katonai bázisok hatással lehetnek az úthálózatra, és bizonyos esetekben a távoli területeken élő közösségek fizikai, társadalmi

²³ Rasa SMALIUKIENE (2018): Sustainability issues in the military: genesis and prospects. *Journal of Security and Sustainability Issues*, 8(1).

²⁴ A. K. JORGENSEN – B. CLARK (2016): The temporal stability and developmental differences in the environmental impacts of militarism: The treadmill of destruction and consumption-based carbon emissions. *Sustainability Science*, (11), 505–514.

²⁵ V. PIDLISNYUK et al. (2016): Preliminary Results on Growing Second Generation Biofuel Crop Miscanthus X Giganteus at The Polluted Military Site in Ukraine. *Nova Biotechnologica et Chimica*, 15(1), 54.; L. B. JUGNIA et al. (2018): In situ pilot test for bioremediation of energetic compound-contaminated soil at a former military demolition range site. *Environmental Science and Pollution Research*, (25), 19436–19445.

²⁶ J. GREENBURG (2017): Selling Stabilization: Anxious Practices of Militarized Development Contracting. *Development and Change*, (48), 1262–1286.

és gazdasági elszigetelődését okozhatják.²⁷ Rasa Smaliukiene²⁸ kutatásának eredményei azt mutatják, hogy a katonai fenntarthatóság fontos paradigmává válik, amelyben közös tudásanyag és intézményesített gyakorlatok alakulnak ki. Három domináns kutatási irány van a területen: 1. a társadalmi kohézió; 2. a környezetileg fenntartható megoldások; és 3. a militarizáció gazdasági (nem) fenntarthatósága. Az első területet elsősorban az egészség- és társadalomtudományi kutatások képviselik. A katonai kontextusban a társadalmi fenntarthatóságot a kohézió jelenségeként érzékelik és elemzik. A társadalmi kohézió a szervezeten belüli fizikai és mentális egészség erős „gyógyszerének” bizonyult. A téma sajátos paradigmát vesz fel, és a belső folyamatokra koncentrál, ugyanakkor innovatív nézőpontot ad a kohézió jelenségére, amelyet mára nem katonai kutatók is teljeskörűen elemeztek. A kutatás azt mutatja, hogy a társadalmi kohézió a hadseregben a fenntarthatóság legkifejlettebb témája, mégis elveszíti jelentőségét, mivel az egészségügyi kérdések közvetlenül kapcsolódnak a fenntarthatóság tág fogalmához. A környezetileg fenntartható megoldások jelentik a katonai fenntarthatóság kutatásának második területét. A publikációk száma szerint ez a legkevesbé vizsgált téma. Mindazonáltal a katonai környezeti-mentális fenntarthatóság kutatási eredményei megoldást kínálnak a gyakorlati alkalmazásra. A katonaságnak mint nagy energiafogyasztónak és nagy szennyezőnek változatos megoldásokra van szüksége arra vonatkozóan, hogyan lehet növelni az erőforrás-felhasználás hatékonyságát a küldetés hatékonyságának feláldozása nélkül. Ennek megfelelően az élettudományokban és a mérnöki tudományokban fellelhető környezeti szempontból fenntartható megoldások intézményesülnek a katonai irányítási rendszerekben. Ezen a területen a tudomány és a gyakorlat nagy integritása fejlődik ki. A harmadik kutatási terület a militarizáció gazdasági (nem) fenntarthatóságára fókuszál, és a gazdaságpolitikai kutatók uralják. A kutatási eredmények bizonyítják a katonaság nemzetgazdasági szerepének változását. Mivel a csúcstechnológiás fegyverek a katonaságot tőke- és tudásintenzív iparrá teszik, már nem foglalkoztatja az iskolázatlan és szakképzetlen fiatalokat, így jelentős aggodalmakat okoz ezeknek az egyéneknek és a társadalom egészének. A gazdasági fenntarthatóság területén végzett kutatások azt mutatják, hogy a katonai kiadások súlyosbítják a jövedelmi egyenlőtlenségeket, és változtatásokat igényelnek a politikában. A gazdaságpolitikai paradigma túlsúlya a fenntarthatóság kutatásának elszigetelt területét hozta létre a hadseregben. A katonai környezeti fenntarthatóság a multidiszciplináris megközelítést integrálja, és a környezeti, gazdasági és társadalmi fenntarthatósággal kapcsolatos kutatások közötti elszigeteltség eltűnik.²⁹

²⁷ M. HAVLÍČEK et al. (2018): The consequences of establishing military training areas for land use development—A case study of Libavá, Czech Republic. *Land Use Policy*, (73), 84–94.

²⁸ Rasa Smaliukiene professzor, projektmenedzser a Litván Katonai Akadémián. Nemzeti képviselő a NATO Tudományos és Technológiai Szervezeténél (NATO STO), az Emberi Tényezők és Orvostudományi Kérdések Csoportban, valamint a Nemzetközi Szabványügyi Szervezet (ISO) emberierőforrás-menedzsmenttel foglalkozó csoportjában.

²⁹ SMALIUKIENE 2018.

A katonaság kapcsolatai a helyi közösségekkel a fenntartható fejlődés kontextusában

A helyi közösségek szemszögéből figyelmet érdemelnek az életszínvonal diverzifikációjának és az intenzív emberi tevékenység és az ezzel összefüggő természeti környezet szennyezés okozta klímaváltozás problémái. Amint azt E. J. Blakely és E. G. Leigh leírja, az életszínvonalban bekövetkező hatások rendkívül sokfélék lehetnek:³⁰

- a globalizáció, amely gyengíti a globális hálózatok (helyi és nemzeti) ellenőrzését;
- a bér- (jövedelem-) rés növekedése;
- a munkáltatók megtakarításai a munkavállalók terhére;
- a vidéki és városi területek közötti, valamint a városokon belüli területi erőforrás-egyenlőtlenségek.

A helyi fejlődést leginkább korlátozó tényező jelenleg a gazdasági szerkezet elégtelen diverzifikációja, a tőke- és tudásforrások elégtelen szintje, a műszaki infrastruktúra hiánya vagy alacsony szintje, a vállalkozások nem kellő agilitása, a területfejlesztés koherens jövőképének hiánya, valamint a társadalmi szinergiák irányításának és integrálásának hiánya. A fejlődés ezen kontextusban „adott területen a gazdasági és társadalmi tevékenységek diverzifikációjának és gazdagításának folyamata, amely a saját erőforrások és az energia mobilizálásából és koordinációjából áll”.³¹ Ez a folyamat mennyiségi (befektetett eszközök nagysága, foglalkoztatás és beruházások) és minőségi változásokat foglal magában, amelyek meghatározzák a nyújtott szolgáltatások színvonalát és elérhetőségét a helyi közösség számára.

A helyi közösségekkel fenntartott katonai kapcsolatok intenzitását számos belső és külső tényező határozza meg. A fenntartható fejlődés kontextusában elemzett társadalmi, gazdasági és környezeti kapcsolatok azt mutatják, hogy a katonaság mint állami intézmény a közjó biztosításán túl a lakossági honvédelem formájában is hozzájárul a katonai potenciál kiépítéséhez azon a területen, ahol található. Ez a hozzájárulás a katonaság helyi munkaerőpiacokra gyakorolt hatásával (a foglalkoztatás növekedése), a lakosság jövedelmi helyzetével (stabilizáció) kapcsolatban azonosítható: a helyi költségvetés nagysága (városi önkormányzatokban ingatlanadó-bevétel, vidéki településeken mezőgazdasági adóból származó bevétel), a közszolgáltatások nagysága és minősége (a katonai alakulatokból származó fenntartható bevételek), a kereskedelem élénkülése és az egyéneknek termékeket és szolgáltatásokat nyújtó vállalatok pénzügyi helyzete. A válaszadók hangsúlyozták a katonai egység szerepét a helyi munkaerőpiac diverzifikálásában, az alakulat jelenlétének köszönhetően az önkormányzatokba való új lakosok beáramlásának növelésében, a fiatalok hazafias attitűdjének kialakításában (együttműködés civil szervezetekkel és egyéb szociális partnerekkel), az ingatlanpiaci

³⁰ E. J. BLAKELY – E. G. LEIGH (2010): *Planning Local Economic Development. Theory and Practice*. 4th Edition. Thousand Oaks: SAGE. 4–23.

³¹ A. JEWTUCHOWICZ (2013): *Terytorium i Współczesne Dylematy jego Rozwoju*. Łódź: Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego. 58.

befolyás gyakorlásában (katonák ház- és lakásvásárlása, bérbeadása), az önkormányzatok elismerésében. A katonaság nagy társadalmi bizalomnak örvend, és a választadók többsége a biztonságot elősegítő entitásként értékelte, annak ellenére, hogy helyi szinten ez a hatás közvetett. A hadsereg fontosságát a biztonság biztosításában főként az államhatárhoz közeli települések lakói vették észre.³²

Az Egyesült Államok nemzetvédelmi minisztériumának klímaalkalmazkodási terve

Az Egyesült Államok Védelmi Minisztériuma (DOD) az éghajlatváltozást kritikus nemzetbiztonsági kérdésként és a fenyegetettség egyik multiplikátoraként,³³ valamint felső vezetési kihívásként azonosította.³⁴ Az éghajlatváltozás tovább növeli a haderővel szembeni operatív igényeket, rontja a létesítményeket és az infrastruktúrát, növeli a szolgálat tagjait fenyegető egészségügyi kockázatokat, és a meglévő és tervezett berendezések módosítását teheti szükségessé. A szélsőséges időjárási események már most is több milliárd dollárba kerülnek a minisztériumnak, és rontják a küldetési képességeket. Ezek a hatások és költségek az éghajlatváltozás felgyorsulásával valószínűleg növekedni fognak. Az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodás hiányosságai egyre több hátrányos következménnyel járnak majd, amelyek a katonai képességek romlásához, a szövetségek és a nemzetközi szerep meggyengüléséhez vezethetnek, egyúttal leromlott infrastruktúrához, valamint a technikai innováció és a gazdasági növekedés elszalasztott lehetőségei által válnak egyre szembetűnőbbé. Az amerikai minisztérium stratégiai dokumentuma szerint ezért merész lépéseket kell tenni az alkalmazkodás felgyorsítása érdekében az éghajlatváltozás káros hatásainak csökkentése érdekében. Ezeknek az alkalmazkodási erőfeszítéseknek összhangban kell lenniük a nemzetvédelem stratégiai céljaival és küldetési követelményeivel, biztosítva, hogy a katonaság minden körülmények között elrettentse az agressziót és megvédje a nemzetet. A DOD korábbi munkákra építve, az alkalmazkodási követelmények megértését célzó tudományos és mérnöki kutatásokra, új irányelvekre és útmutatásokra, továbbfejlesztett építési szabályzatokra és szabványokra, az eszközök és a létesítmények éghajlati expozíciójának felméréseire és értékelésére, valamint az átfogó telepítési főtervezés követelményeire alapozva alkotta meg a nemzetvédelmi minisztérium klímaalkalmazkodási tervét.³⁵

Ez a terv a DOD 2014-es klímaváltozáshoz való alkalmazkodási ütemtervében³⁶ körvonalazott intézkedésekre és tevékenységekre épül, és megfelel az éghajlati válság

³² Stanisław SIRKO – Jarosław KOZUBA – Marzena PIOTROWSKA-TRYBULL (2019): The Military's Links with Local Communities in the Context of Sustainable Development. *Sustainability*, (11), 4427.

³³ Department of Defense (DOD) (2014a): *Quadrennial Defense Review 2014*.

³⁴ DOD (2020): *Fiscal Year 2021. Top DOD Management Challenges*. Washington: Inspector General, Department of Defense.

³⁵ DOD (2021): *Climate Adaptation Plan*.

³⁶ DOD (2014b): *2014 Climate Change Adaptation Roadmap*.

kezelésére itthon és külföldön kiadott 14008. számú végrehajtási rendelet (EO) 211. szakasza követelményeinek. A Környezetminőségi Tanács (CEQ) ezt követően jelezte, hogy ennek a tervnek az elsődleges célja, hogy „integrálja az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodást és az éghajlatváltozással szembeni ellenálló képességet az ügynökségi programokban, az ingatlanok, a közterületek és a vizek kezelésében, valamint a pénzügyi szolgáltatásokban”. A minisztérium nagyon széles körű megközelítést alkalmazott ezen útmutatáshoz, és pozitív változást kíván elérni az ország legnagyobb szövetségi erőforrás-fogyasztó szervezetében. A CEQ előírt formátumának egyes elemeit módosították, hogy javítsák a megértést a minisztérium kulturális és nemzetbiztonsági kontextusában.³⁷

Az Egyesült Államok klímaalkalmazkodási stratégiai keretrendszere

Az Egyesült Államok védelmi minisztériuma megalkotta klímaalkalmazkodási stratégiai keretrendszerét (3. ábra), és ehhez módosította a CEQ előírt formátumát, hogy jobban tükrözze a nemzetvédelem tevékenységeinek hatókörét és mértékét, valamint annak érdekében, hogy a DOD tervezési erőfeszítéseinél közös terminológiát használjon. A klímaalkalmazkodási stratégiai keretrendszer célja, hogy gondoskodjon arról, hogy a DOD működni tudjon változó éghajlati viszonyok között, megőrizve működési képességét, és javítva a minisztérium sikeréhez elengedhetetlen természetes és ember alkotta rendszereket. A minisztérium kétféleképpen reagál az éghajlatváltozásra: alkalmazkodás az éghajlatváltozás hatásaival szembeni ellenálló képesség fokozása érdekében; valamint az üvegházhatású gázok (ÜHG) kibocsátásának csökkentését célzó mérséklés. A DOD fenntarthatósági jelentése és végrehajtási terve (*Sustainability Report and Implementation Plan*) tovább részletezi a minisztérium egyes éghajlati változásokra vonatkozó stratégiai intézkedéseit.³⁸ A DOD irányelve szerint³⁹ minden művelet, tervezési tevékenység, üzleti folyamat és erőforrás-elosztási döntés magában foglalja az éghajlatváltozással kapcsolatos megfontolásokat. Ennek a döntésnek a célja, hogy biztosítsa, az Egyesült Államok katonai erői minden körülmények között megőrzik hadműveleti előnyüket, kihasználva hatékonyságukat és ellenálló képességüket, annak érdekében, hogy biztosítsák erőik mozgékonyágát, képességeit és hatékonyságát. Az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodásnak összhangban kell lennie a minisztérium harci követelményeivel, és támogatnia kell azokat. Mivel egyetlen entitás sem élvezheti azt a luxust, hogy mentesüljön az éghajlatváltozás hatásai alól, a minisztérium egyetlen része – sem szolgálat, sem parancsnokság, sem tevékenység – nem tudja „kizárni” a változó éghajlathoz való alkalmazkodás követelményét.

³⁷ DOD 2021.

³⁸ DOD (2020b): *Sustainability Report and Implementation Plan*.

³⁹ DOD (2016): *DOD Directive 4715.21.: Climate Change Adaptation and Resilience*. Washington: Office of the Under Secretary of Defense for Acquisition, Technology, and Logistics.

Erőfeszítések iránya fókuszterületekkel	Stratégiai eredmények
Klímainformációs döntéshozatal Klímaintelligencia Stratégiai, operatív és taktikai döntéshozatal	<i>Az éghajlatváltozással kapcsolatos megfontolások és hatások az összes vonatkozó és alkalmazandó DOD- határozatban szerepelnek</i>
Képzés és felszerelés, klímaváltozás- és ütésálló haderő Biztonságos tréning extrém körülményekkel A jelenlegi és a jövőbeli felszerelés értékelése A követelmények és a beszerzések módosítása Az éghajlati hatások tesztelése	<i>Agilis, kiképzett és felszerelt haderő, amely hatékonyan működik minden várható éghajlati viszony között</i>
Ütésálló és természetes infrastruktúra Telepítési ellenálló képesség A teszt- és képzési terület megvédése Ökoszisztéma-szolgáltatások	<i>A sikeres küldeteskészültséghez, katonai felkészültséghez és a változó körülmények között a hadműveleti sikerhez szükséges kiépített és természetes infrastruktúra</i>
Az ellátási lánc ellenállósága és innováció Az ellátási lánc ellenállóságának értékelése Megszilárdítás és váltás szárazföldre A vásárlóerő kihasználása	<i>Megszakítás nélküli hozzáférés a kulcsfontosságú kellékekhez, anyagokhoz, vegyi anyagokhoz és szolgáltatásokhoz</i>
Az ellenálló képesség fokozása együttműködéssel Szervezetek között és kormányzaton belül A partner nemzetekkel Közösségi ellenálló képesség	<i>Az alkalmazkodási költségek csökkentése és a célok egységesítése a DOD érdekelt feleivel való érdemi együttműködések révén</i>

3. ábra: A DOD éghajlati alkalmazkodási stratégiai keretrendszere a jelenlegi és jövőbeli döntésekhez
 Forrás: a szerző szerkesztése a DOD 2021: 4. alapján

Összefoglalás

Ez a tanulmány egyrészt az Airports Council International (ACI) World átfogó útmutatását tekinti át, amelyet azért tettek közzé, hogy segítsék a repülőterek vezetőit holisztikus fenntarthatósági stratégiájuk megvalósításában, miközben helyi kezdeményezéseiket a közös nemzetközi trendekhez és célkitűzésekhez igazítják. Az ACI útmutatója rész-

letes eligazítást ad arról, hogy a fenntartható légi közlekedés hogyan járulhat hozzá az ENSZ fenntartható fejlődési céljaihoz, egyben áttekintést nyújt a legfontosabb és leggyakrabban vizsgált fenntarthatósági témákról. A világszerte több mint 80 repülőtérrel végzett szigorú adatgyűjtés és kutatások alapján a tárgyalt témák közé tartozik többek között a szolgáltatások minősége, az infrastruktúra fejlesztése, valamint a biztonság és hatékony működés. Ez az útmutatás egyértelműen eligazíthat bennünket arról, hogy a repülőterek hogyan hajtsanak végre társadalmi, környezeti és gazdasági fenntarthatósági intézkedéseket, és hogyan építsék azokat be általános üzleti stratégiájukba és működésükbe. Másrészt e tanulmány bemutatja azokat a nemzetközi kezdeményeseket, amelyek a repülőterek hosszú távú fenntarthatóságának megteremtése érdekében jöttek létre. Harmadrészt e tanulmány részletesen tárgyalja a legfontosabb fenntarthatósági kérdéseket a katonaságnál, külön alfejezetben tárgyalva a katonaság kapcsolatait a helyi közösségekkel a fenntartható fejlődés kontextusában. Végül, de egyáltalán nem utolsósorban e tanulmány röviden ismerteti az Egyesült Államok nemzetvédelmi minisztériumának klímaalkalmazkodási tervét és éghajlati alkalmazkodási stratégiai keretrendszerét.

Felhasznált irodalom

- Accredited airports [é. n.]. *Airport Carbon Accreditation*. Online: <https://airportco2.org/airports-across-the-world.html#region-europe>
- Airport Carbon Accreditation. Airports Responding to Climate Change* (2020). (6). Online: <https://airportcarbonaccreditation.org/component/attachments/?task=download&id=157>
- Airports Council International (2020): *Sustainability Strategy for Airports*. Second Edition – November 2020 Online: <https://aci-europe.org/downloads/resources/ACI%20EUROPE%20SUSTAINABILITY%20STRATEGY%20-%20SECOND%20EDITION.pdf>
- Airports Council International Europe (2020): *Information on the use of modulations of airport charges for environmental reasons*. Brussels. Online: <https://aci-europe.org/downloads/resources/ACI%20EUROPE%20Paper%20on%20Environmental%20Modulations%20of%20Charges.pdf>
- BLAKELY, E. J. – LEIGH, E. G. (2010): *Planning Local Economic Development. Theory and Practice*. 4th Edition. Thousand Oaks: SAGE.
- BREEAM [é. n.]. *Wikipedia*. Online: <https://en.wikipedia.org/wiki/BREEAM>
- CEEQUAL [é. n.]. *Wikipedia*. Online: <https://en.wikipedia.org/wiki/CEEQUAL>
- Department of Defense (DOD) (2014a): *Quadrennial Defense Review 2014*. Online: https://acq.osd.mil/ncbdp/docs/2014_Quadrennial_Defense_Review.pdf
- DOD (2014b): *2014 Climate Change Adaptation Roadmap*. Online: https://acq.osd.mil/EIE/Downloads/CCARprint_wForward_e.pdf
- DOD (2021): *Climate Adaptation Plan*. Online: <https://sustainability.gov/pdfs/dod-2021-cap.pdf>
- DOD (2016): *DOD Directive 4715.21.: Climate Change Adaptation and Resilience*. Washington: Office of the Under Secretary of Defense for Acquisition, Technology, and Logistics.
- DOD (2020a): *Fiscal Year 2021. Top DOD Management Challenges*. Washington: Inspector General, Department of Defense. Online: <https://media.defense.gov/2020/Nov/18/2002537497/-1/-1/1/TOP%20DOD%20MANAGEMENT%20CHALLENGES%20FISCAL%20YEAR%202021.PDF>

- DOD (2020b): *Sustainability Report and Implementation Plan*. Online: www.sustainability.gov/pdfs/dod-2022-sustainability-plan.pdf
- ENSZ Fenntartható Fejlődési Célok (Sustainable Development Goals, SDGs) [é. n.]. Alapvető Jogok Biztosának Hivatala. Online: <https://ajbh.hu/-/ensz-fenntarthato-fejlodesi-celok-sustainable-development-goal-sdg->
- EUROCONTROL (2022a): *Aviation Outlook 2050. Main Report*. Online: <https://eurocontrol.int/publication/eurocontrol-aviation-outlook-2050>
- EUROCONTROL (2022b): *Objective Skygreen 2022-2030: The economics of aviation decarbonisation towards the 2030 Green Deal milestone*. Online: <https://eurocontrol.int/sites/default/files/2022-05/eurocontrol-objective-skygreen-2022-2030-report-20220523.pdf>
- Federal Aviation Administration (2012): *Aviation Environmental and Energy Policy Statement*. Department of Transportation Federal Aviation Administration. Online: https://faa.gov/sites/faa.gov/files/about/office_org/headquarters_offices/apl/FAA_EE_Policy_Statement.pdf
- Voluntary Airport Low Emissions Program (VALE) [é. n.]. *Federal Aviation Administration*. Online: <https://faa.gov/airports/environmental/vale>
- GREENBURG, J. (2017): Selling Stabilization: Anxious Practices of Militarized Development Contracting. *Development and Change*, (48), 1262–1286. Online: <https://doi.org/10.1111/dech.12348>
- HAVLÍČEK, M. et al. (2018): The consequences of establishing military training areas for land use development—A case study of Libavá, Czech Republic. *Land Use Policy*, (73), 84–94. Online: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.01.039>
- ICAO Annual Report of the ICAO Council: 2015. Strategic Objectives: Environmental Protection [é. n.]. *ICAO*. Online: <https://icao.int/annual-report-2015/Pages/progress-on-icaos-strategic-objectives-safety-environmental-protection-home-page.aspx>
- International Integrated Reporting Council (2013a): *Business Model. Background Paper for <IR>*. ISSN 2052-1723. Online: https://integratedreporting.org/wp-content/uploads/2013/03/Business_Model.pdf
- International Integrated Reporting Council (2013b): *Capitals. Background Paper for <IR>*. <https://integratedreporting.org/wp-content/uploads/2013/03/IR-Background-Paper-Capitals.pdf>
- JEWTUCHOWICZ, A. (2013): *Terytorium i Współczesne Dylematy jego Rozwoju*. Łódź: Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego.
- JORGENSEN, A. K. – CLARK, B. (2016): The temporal stability and developmental differences in the environmental impacts of militarism: The treadmill of destruction and consumption-based carbon emissions. *Sustainability Science*, (11), 505–514. Online: <https://doi.org/10.1007/s11625-015-0309-5>
- JUGNIA, L. B. et al. (2018): In situ pilot test for bioremediation of energetic compound-contaminated soil at a former military demolition range site. *Environmental Science and Pollution Research*, (25), 19436–19445. Online: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2115-y>
- PIDLISNYUK, V. et al. (2016): Preliminary Results on Growing Second Generation Biofuel Crop *Miscanthus X Giganteus* at The Polluted Military Site in Ukraine. *Nova Biotechnologica et Chimica*, 15(1), 54. Online: <https://doi.org/10.1515/nbec-2016-0008>
- SIRKO, Stanisław – KOZUBA, Jarosław – PIOTROWSKA-TRYBULL, Marzena (2019): The Military's Links with Local Communities in the Context of Sustainable Development. *Sustainability*, (11), 4427. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11164427>
- SMALIUKIENE, Rasa (2018): Sustainability issues in the military: genesis and prospects. *Journal of Security and Sustainability Issues*, 8(1). ISSN 2029-7017 print. ISSN 2029-7025 online.

Online: https://jssidoi.org/jssi/uploads/papers/29/Smaliukiene_Sustainability_issues_in_the_military_genesis_and_prospects.pdf

Sustainability Reporting Guidelines & Airport Operators Sector Supplement [é. n.]. Online: <https://yumpu.com/en/document/read/21480009/airport-operators-sector-supplement-global-reporting-initiative>

United Nations [é. n.]: *A Global Compact for Sustainable Development*. Online: https://d306pr3pi-se04h.cloudfront.net/docs/issues_doc%2Fdevelopment%2FGCforSDbrochure.pdf

WBCSD FLP 2014–Accenture–Integrated Performance Management (2014). *World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)*, 2014. december 21. Online: <https://wbcsd.org/Projects/Education/Leadership-program/Resources/WBCSD-FLP-2014-Accenture-Integrated-Performance-Management>

Vákát

A Leopard 2A4 harckocsi szerkezetének és üzemben tartásának vizsgálata a Magyar Honvédség igényei tükrében

A Leopard 2A4 harckocsi a Zrínyi Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program keretében 2020-ban állt hadrendbe a Magyar Honvédségben. A tanulmány a jelenleg még rendszerben lévő T-72 harckocsival összevetve mutatja be a Leopard 2A4 harckocsi erőforrását, futóművét és fő fegyverzetét, illetve a vele érkezett külföldi üzemben tartási modellt. A különbségek jelentősek: a T-72 töltőgéppel rendelkezik, míg a német Leopard 2 harckocsi – főbb konstrukciós megoldásait és általános felépítését tekintve – hagyományos, konzervatív szerkezeti kialakítású páncélozott harcjármű. Ugyanakkor a Leopard 2 harckocsi az üzemben tartás területén mutat fejlett vonásokat: a power pack (erőátviteli blokk) gyorscsatlakozókkal egyben kiemelhető, cserélhető, megkönnyítve a harc-téren a motorcserét, a javítást és a karbantartást. A tanulmány német, osztrák és magyar Leopard 2-üzembentartási példákat egyaránt elemez.

Kulcsszavak: harckocsi, Leopard 2, T-72, üzemben tartás, Zrínyi Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program

Examination of the Structure and Maintenance of Leopard 2A4 MBT in the Light of the Hungarian Defence Forces' Requirements

The Leopard 2A4 tank was commissioned in the Hungarian Defence Forces in 2020 as part of the Zrínyi Defence and Force Development Programme. The study compares the Leopard 2A4 tank with the T-72 tank still in service, showing the prior's engine, undercarriage and main armament, as well as the foreign maintenance model that came with it. The differences are significant: the T-72 is equipped with an autoloader system, while the German Leopard 2 tank has a conventional armoured fighting vehicle design in terms of its main and overall construction. At the same time, the Leopard 2 has advanced features in the field of maintenance: the power pack can be replaced thanks to the quick couplings, facilitating engine replacement, repair and maintenance on the battlefield. The study analyses examples of German, Austrian and Hungarian Leopard 2 experiences of usage.

Keywords: armoured fighting vehicle, Leopard 2, T-72, maintenance, Zrínyi Defence and Force Development Programme

Bevezetés

A tanulmány aktualitását a Leopard 2A4 harckocsik 2020. évi magyarországi hadrendbe állítása adja. A Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program keretében 2020-tól a Magyar Honvédségben (a továbbiakban: MH) megjelent 12 db Leopard 2A4 alapharckocsi. Az először lízingelt, majd később beszerzendő harcjárművek a Leopard 2A4HU elnevezést kapták. A harcjárműveken felül a beszerzési csomag részét képezték még a járművek szállítását biztosító nehézgépszállító szerelvények, valamint a karbantartást és a javítást lehetővé tevő speciális szerszámok és bevizsgáló eszközök, hagyományos szerszámkészletek, tartalék alkatrészek.¹ A tanulmány – a nyílt források adatai lehetőségei keretei között – az alkalmazott T-72 harckocsival szemben bemutatja a Leopard 2A4 harckocsi erőforrását, futóművét és fő fegyverzetét, illetve az üzemben tartás külföldi modelljét.

A harckocsi szerepe a Magyar Honvédségben napjainkban

A harckocsik szerepe a 90-es évek végéig megkérdőjelezhetetlennek számított, és a harcmezőn jelentőségük a mai napig tagadhatatlan, alkalmazásuktól nem lehet eltekinteni, viszont biztos, hogy az elmúlt időszak konfliktusainak tükrében szerepük meg fog változni. A változás nem új keletű, csak a hidegháború időszakában, a harckocsikat alapvetően „elkerülő” konfliktusok során több mint 20–25 évig nem változott a szerepük. Szinte minden harctéren jelen vannak, mert bizonyos harcfeleladatok megoldására nem létezik megfelelőbb harceszköz, ezért a jól felszerelt haderőből nem hiányozhatnak ezek a páncélozott harcjárművek. Az MH rendszerében mára elkerülhetetlenné vált a haditechnikai eszközök nagyobb volumenű korszerűsítése, cseréje, amely igény a kiszolgáló infrastruktúrára is vonatkozik.

A T-72 típusú harckocsi

Az MH-ban rendszeresített harckocsitípus a T-72 közepes harckocsi,² amely a II. világháború utáni második generációs harckocsik közé sorolható. 1978-ban rendszeresítették a Magyar Néphadseregben. 1996-ig az MH szovjet, csehszlovák és lengyel gyártmányú, különböző típusváltozatú T-72 harckocsikkal rendelkezett.³ 1996-tól – kedvezményes vásárlás eredményeként – Belarusztól újabb 100 db, különböző típusváltozatú és felszereltségű T-72M1 harckocsi érkezett Magyarországra, és állt rendszerbe az MH gépesített lövész alakulatainál.

¹ A lízing idejére teljes javítást és karbantartást, hozzá az alkatrészeket a KMW idetelepült csoportja adja.

² *A Magyar Honvédség főbb haditechnikai eszközei* (2011). Székesfehérvár: Az MH Összhaderőnemi Parancsnokság kiadványa. 53.

³ NAGY Norbert (2020): A T-72 harckocsi. [H. n.]: Zrínyi.

A Magyarországra érkezett T-72 típusú harckocsik főbb jellemzői

A harckocsi fő fegyverzete egy 2A46 jelű, 125 mm űrméretű sima csövű, hővédő burkolattal ellátott harckocsiágyú, amely két síkban stabilizált, töltése töltőautomatával biztosított. A harckocsi lőszer-javadalmazása 39 db osztott lőszer.⁴ A töltet részben eléggő hüvelyű, így a lövés után csak a hüvelyfenék marad a töltetből, amelyet a töltőautomata a következő töltéskor eltávolít a küzdőtérből a torony hátsó részében kiképzett nyíláson. Az ágyúhoz repesz-romboló, (OF-19), kumulatív (3BK 14 M) és űrméret alatti páncéltörő lövedékeket (3BM 15) szereztek be.⁵ Az ágyú automatikus töltését – az ágyú töltési szögön való rögzítése után – kazettás rendszerű, vízszintes elhelyezésű forgó lőszertároló és töltőautomatika teszi lehetővé. A töltőberendezéshez mechanikus memóriaegység tartozik lőszerszámlálóval. A harckocsiban lehetőség van az ágyú félautomata és kézi töltésére is. A forgó lőszertároló befogadóképessége 22 db osztott lőszer. A többi lőszer a küzdőtérben, különböző tárolókban van elhelyezve.

A harckocsi kezelőszemélyzete 3 fő, amely a harckocsiparancsnokból, az irányzóból és a harckocsivezetőből áll. Az irányzó TPD-2-49 jelű, nyolcszoros nagyítású irányzó-távcsőve függőleges síkban független látómező-stabilizálással, illetve sztereoszkópikus optikai távmérővel rendelkezik. Az éjszakai irányzást TPN-1-49-23 jelű monokuláris, elektrooptikai 5,5-szörös nagyítású infravörös irányzó-távcső biztosítja.

Találati valószínűsége 1500 m céltávolság esetén 0,6–0,7 értéket érhet el mozgásból álló cél esetén. A fő fegyverzetén kívül a harckocsi rendelkezik még egy 7,62 mm űrméretű PKT típusú párhuzamosított géppuskával és egy 12,7 mm űrméretű NSZVT típusú légvédelmi géppuskával. A harckocsiparancsnok kombinált nappali és éjszakai TKN-3 jelű célmegjelölő figyelőműszerrel rendelkezik, amely lehetővé teszi számára a fő fegyverzet és a vele párhuzamosított géppuska oldalszögbeli irányzását.

A harckocsit 12 hengeres, négyütemű, mindenevő, folyadékhűtéses, mechanikus feltöltővel ellátott, V-46 típusú, 582 kW teljesítményű dízelmotor hajtja.⁶ A harckocsi fajlagos teljesítménye 13,8 kW/t. A T-72 harckocsi futóműve oldalanként 6 db nagy méretű gumírozott futógörgővel, 3 db lánctartó görgővel, egy-egy láncmeghajtó és láncfeszítő kerékkel rendelkezik. Az első, a második és a hatodik futógörgő hidraulikus lengéscsillapítókka van ellátva. A torziós rugókkal ellátott futómű rugózása kedvezően hat a harckocsiból való figyelésre, az irányzásra és a lövés leadásának pontosságára. A láncalp oldalanként 96 db lánctagból áll. A lánctagok magas mangántartalmú (nem mágnesezhető) öntött acélból készültek, gumicsuklósak és hatszögletű csapszegekkel kapcsolódnak egymáshoz.

A harckocsi kialakításakor nagy figyelmet fordítottak a hermetizálásra, amelyet nemcsak a tömegpusztító fegyverek elleni védekezés végett fejlesztettek ki, hanem ezzel a harckocsi víz alatti átkelésének lehetőségeit (5 m) is tökéletesítették. A harckocsi

⁴ BOMBAY László – GYARMATI József – TURCSÁNYI Károly (1999): *Harckocsik 1916-tól napjainkig*. Budapest: Zrínyi. 188–189.

⁵ NAGY 2020: 28.

⁶ BOMBAY–GYARMATI–TURCSÁNYI 1999: 189.; GYARMATI József (2000): *Haditechnikai ismeretek*. Budapest: Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem. 132.

tartozékában megtalálhatók a víz alatti átkelés részegységei, mint a parancsnoki búvónyílásra szerelhető levegőcső, a kipufogóra szerelendő pillangószelepsor, a tömítések, a lövegsapka. A vezető a nappali, nagyítás nélküli periszkópon felül rendelkezik egyszeres nagyítású, elektrooptikai, binokuláris, periszkópikus TVNE-4PA éjszakai figyelőműszerrel.

A harcrocstestet acél, üvegszál-erősítésű műanyag és kerámia kompozitja, a tornyot kvarcbeátemes szendvicsszerkezetű páncél fedi.⁷ A toronypáncél vastagsága változó, elől maximálisan 475 mm. A 68°-ban döntött homlokpáncél vastagsága 205 mm. A Varsói Szerződés haderői használatára gyártott összes harcrocst ellátták speciális sugárzáselnyelő belső burkolattal. A futóművet és az alvázat oldalanként futómű-kötényezés védi a kumulatív hatású fegyverek ellen. A harcrocst ellátták szűrő-szellőztető és tűzoltó berendezéssel is. Az 1978-ban Magyarországra került harcrocst között századparancsnoki és zászlóaljparancsnoki⁸ változat is szerepelt. Mindkét parancsnoki változat rendelkezik már TPD-K1 lézertáv mérő irányzó távcsővel, viszont lőszer-javadalmazásuk kisebb. A századparancsnoki harcrocst 2 db R-123 M rádióállomással, míg a T-72K zászlóaljparancsnoki harcrocst 1 db R-130 típusú rádióállomással, egy AB-1 típusú benzinüzemű áramforrás-aggregátorral és TNA-3 jelzésű navigációs berendezéssel is fel van szerelve.

Az alapváltozattól eltérő, szovjet, csehszlovák és lengyel gyártású T-72-es típusú harcrocst főbb jellemzői, különbségei:

- a tornyon nincsenek deszantkapaszkodók;
- a tornyról eltűnt az optikai távmérő báziscsőve, a torony markánsabbá, erősebbé vált;
- minden harcrocst TPD-K1 lézertáv mérő irányzó távcsővel rendelkezik, amelynek látómezője célszerűbb elosztású, mint a szovjet típusé;
- a századparancsnoki és a normál harcrocst fő fegyverzetének lőszer-javadalmazása egységesen 40 db-ra nőtt;
- a harcrocstimotoron lévő szűrők elhelyezését célszerűsítették, de ezáltal a szovjet és cseh/lengyel motorokat a másik változatba való beszerelés előtt át kell építeni.

A cseh és a lengyel gyártmányú harcrocst között további apró különbség a légvédelmi géppuska rakaszának rögzítése.

A T-72M típusú harcrocst (csehszlovák és lengyel gyártású) típus a fent ismertetett csehszlovák/lengyel gyártású harcrocstiktól a következőkben különbözik:

- a torony mindkét oldalára (a jobb oldalán 5 db, a bal oldalán 7 db) kódgránátvetők kerültek;
- a páncéltest védelmére alkalmazott „kumulatív ernyőket” felváltotta a futómű-kötényezés, amely gumivászonból készült;
- a lőszerkészletet 44 db-ra növelték;
- a vezető ülését módosították.

⁷ BOMBAY–GYARMATI–TURCSÁNYI 1999: 188.

⁸ Csehszlovák beszerzésű harcrocst.

T-72M1 (lengyel gyártású) harckocsiváltozat parancsnoki harckocsiként (T-72M1K) lett rendszeresítve. A T-72M toronypáncélatát megerősítették, illetve a harkocsitest felső homlokrészeire további 16 mm-nyi páncéllemezt helyeztek.

A T-72A (Magyarországon T-72M1) típust hazai (szovjet) alkalmazásra 1979 óta gyártották, amelyből kifejlesztették a T-72M exportváltozatot. 1982-től a harckocsit 2E42-2 stabilizátorral látták el. A későbbi változatokon a páncélatot megerősítették, a torony tetejére kívülre sugárzáselnyelő burkolatot helyeztek az áthatoló sugárzás csökkentésére, és R-173-as típusú rádióval szerelték fel ezeket a harcjárműveket. A víz alatti átkelésre szolgáló levegőcső átkerült a hátsó ládára, helyére újabb tárolóláda került.

A T-72AV (Magyarországon T-72M1) típust szintén hazai (szovjet) alkalmazásra 1985 óta gyártották, és valójában a T-72A harckocsi reaktív páncéllal ellátott változata. Magyarország robbanótestek nélkül kapta meg az eszközöket. A ködgránátvetők száma 8 db-ra csökkent, és az összes átkerült a torony bal oldalán elhelyezett tartóra. Az 1996-ban beérkező 100 db T-72M1 harckocsi sok apró dologban eltért egymástól, szinte mindegyik külön altípusa volt a T-72M1 harckocsinak. Volt két olyan harckocsi is, amelyben a 2A46M harckocsiágyú helyett már a T-80 harckocsikba épített 2A46M-2 típusú, eltérő lövegfarral és ékzárral szerelt harckocsiágyú volt beépítve.

A Leopard 2A4 harckocsi bemutatása és karbantartási lehetőségei

A német Leopard 2 harckocsi eredeti gyártója a Krauss–Maffei Wegmann (a továbbiakban: KMW), amely jelenleg KNDS (KMW-Nexter Defence System) néven gyártja ezeket az eszközöket.⁹ A Henschel Defense Technology (jelenleg Rheinmetall LandSystems) a torony gyártását végezte, a Rheinmetall Defense Technology pedig a 120 mm űrméretű főfegyverzetet, és annak rendszereit gyártja.¹⁰

A Bundeswehr szárazföldi csapatainak 1979-ben adták át az első Leopard 2 harckocsit próbahasználatra, majd még abban az évben rendszeresítették is a típust. A Leopard 2 harckocsikat később különféle sorozatokba kezdték beosztani, ennek megfelelően az első a Leopard 2A0 jelzést kapta. Ennek a szinte prototípusharckocsinak a különféle rendszerei még jelentős fejlesztéseken estek át ebben a kezdeti időszakban.¹¹

A Leopard 2A0 prototípusokat, valamint az azt követő 2A1–3 sorozatú harckocsikat¹² 1985-ben teljes létszámban átalakították Leopard 2A4 típusra, amely az első jelentős mértékben módosított sorozat volt. A legfontosabb változtatások között említhető a kompozit kialakítású torony és oldalpáncél módosításokkal, titán- és volfrám-kiegészítőrétegekkel tovább növelt védettség.

⁹ Korábban a kielői Krupp-Maschinenbau (MAK) is gyártotta ezt a harckocsitípust.

¹⁰ KURCZ Kristóf – VÉG Róbert – HEGEDŰS Ernő (2020a): Magyar Honvédség A4 és A7+ típusváltozatai I. rész. *Haditechnika*, (5), 3.

¹¹ KURCZ–VÉG–HEGEDŰS 2020: 5–7.

¹² Fontosabb fejlesztések a 0–3 sorozat között: Leopard 2A1 – páncélfejlesztés és megbízhatóságot növelő fejlesztések; Leopard 2A2 – az irányzó- és a tűzvezetőrendszer fejlesztése; Leopard 2A3 – a kommunikációs rendszer és az üzemi fűkondícionálórendszer fejlesztése.

A Leopard 2 típuscsalád különböző változataiból eddig több mint 3000 db készült, amely összesen 19 országban, egyebek mellett a német, a holland, a svájci, a svéd, a spanyol és az osztrák haderőnél állt szolgálatba. Az 1980-as években rendszerbe állított Leopard 2-t még napjainkban is folyamatos fejlesztésnek és korszerűsítésnek vetik alá. A 2A4 típusból 1985 és 1992 között több mint 1800 db készült.

A német Leopard 2 harckocsi – főbb konstrukciós megoldásait és általános felépítését tekintve – hagyományos, konzervatív szerkezeti kialakítású páncélozott harcjármű.¹³

A Leopard 2 harckocsi főbb konstrukciós és műszaki jellemzői: Rheinmetall L/44 ürméretű (120 mm ürméretű) harckocsiágyú – amelyhez nem építettek be töltőgépet –, többségében merőleges beépítésű kompozit síklemez páncélzat, töltőlevegő-visszahűtéses turbódízel-erőforrás, hidrodinamikus tengelykapcsoló, bolygóműves sebességváltó, torziós futógörgő-felfüggesztés. A Leopard 2A4 harckocsi harckész tömege 55 t, hosszúsága előrefordított löveggel 9,67 m, a páncéltest hosszúsága 7,72 m, szélessége 3,7 m, magassága 2,48 m, fajlagos talajnyomása 8,3 N/mm² (1. táblázat).

1. táblázat: A Leopard 2A4 harckocsi főbb műszaki adatai

Hosszúság	9,67 m
Szélesség	3,7 m
Magasság	2,79 m
Tömeg	55,1 t
Ekvivalens torony- és homlokpáncélzat	ca. 600 mm réteges
Erőforrás	MTU MB873–Ka501 12 hengeres, 47,600 cm ³ turbófeltöltővel ellátott folyadékhűtéses dízelmotor
Maximális teljesítmény	1103 kW (1500 Le)
Fajlagos teljesítmény	20 kW/t
Erőátviteli rendszer	Renk HSWL 354 hidrodinamikus nyomatékváltó, bolygóműves sebességváltó és ZF bolygóműves kihajtóművek
Max. sebesség	72 km/h (36 km/h hátramenetben)
Hatótávolság	550 km úton, 280 km terepen
A tüzelőanyag-tartály összterfogat	1160 l
Fő fegyverzet	Rheinmetall 120 mm ürméretű, L/44 kaliberhosszú sima csövű harckocsiágyú
Tűzvezető rendszer	Tűzvezető számítógép, Carl Zeiss optikai megfigyelő és irányzó-rendszerek

Forrás: a szerző szerkesztése Cranny-Evans et al. 2018 és Kelecsényi 2019a alapján

A 4 fős kezelőszemélyzet tagjai közül a vezető a jobb oldalon ül a páncéltestben, tájékozódását három – periszkópos látómezővel rendelkező – prizma biztosítja a nagy dőlésszögű homlokpáncélzat alatt. Ülése mögött alakították ki a harckocsi belülről nyitható vészkijáratát. A harckocsi fő fegyverzete a toronyban található, ahol a kezelőszemélyzet további 3 tagja – az irányzó, a parancsok és a töltőkezelő – dolgozik.

¹³ BOMBAY–GYARMATI–TURCSÁNYI 1999: 169–171.

A korszerű tűzvezető rendszer és a nagy teljesítményű harckocsiágyú biztosítja, hogy a mozgó Leopard harckocsi mozgó páncélozott célok ellen akár 4000–5000 m-es távolságon is eredményes.

A harckocsi tornya elektrohidraulikusan vagy kézzel 360°-ban elforgatható. A fegyver a fő irányzótávcsővel és a harckocsiparancsnoki figyelőműszerrel együtt stabilizált. A ballisztikai adatokat erre a célra beépített számítógép dolgozza fel. A harckocsi fő fegyverzete mellett egy 7,62 mm űrméretű, az ágyúval párhuzamosított géppuskával, egy 7,62 mm űrméretű légvédelmi géppuskával, valamint 2×8 db ködgránátvetővel rendelkezik a torony két oldalán.

Az L/44 harckocsiágyúból kilőtt űrméret alatti lövedék 1650 m/s kezdősebességéhez 750 mm homogén acélpáncél-átütési képesség társul, amely bármely ma ismert harckocsi leküzdésére alkalmassá teszi a Leopard 2A4-et. A nagy távolságú tűzharcra való képességét érzékelteti, hogy a lézertáv mérő 10 km távolságig alkalmazható, ekkor mérési pontossága mintegy 10 m. Védetségét tekintve a Leopard 2A4 mintegy 600–700 mm-es ekvivalens páncélvastagságú réteges páncélzata jelentős tömegű ugyan, azonban a jelenleg a világ élvonalában lévő harckocsiknak megfelelő magas szintű védetséget biztosít. Ezenfelül számos megoldás növeli a harckocsi túlélőképességét:

- toronytól elkülönített lőszertároló kamra (ügynevezett bunker);
- robbanásbiztos üzemanyagtartály;
- ködgránátvető rendszer;
- hatékony álcázófestés;
- tömegpusztító fegyverek hatása elleni túlnyomósos ABV (atom-biológiai-vegyi)-védelmi rendszer;
- automata tűzoltó berendezés.

Az 1103 kW teljesítményű turbódízel-erőforrásnál jelenleg sem nagyobb teljesítményűt, sem gazdaságosabbat nem tudunk megnevezni az élvonalbeli harckocsik erőforrásai közül, ez – a bolygóműves automata sebességváltóművel és a hatékony, komplex fékrendszerrel együttműködve – jelentős mozgékonytságot biztosít a Leopardnak (kiegészülve a nagy sebességű hátramozgás képességével is). A Leopard 2A4 harckocsi ilyen módon a tűzerő, a védetség és a mozgékonytság területén is magas fokú képességekkel rendelkezik. Az alábbiakban a tanulmány e három kulcsfogalom – a tűzerő, a mozgékonytság és a védetség – köré szervezve ismerteti a Leopard 2A4 harckocsi általános szerkezeti jellemzőit.

A Leopard 2A4 harckocsi védetségét biztosító rendszerek

A harckocsi védetségét biztosító rendszerek: páncélzat, elkülönített lőszertároló kamra, robbanásbiztos üzemanyagtartály, automata tűzoltó berendezés, álcázás.

A páncélzat pontos felépítése, szerkezete, vastagsága nem nyilvános adat, az alábbiakban leírtakat nyílt szakirodalmakból gyűjtöttük össze. A Leopard 2 harckocsi-páncéltest (teknő) és a torony ötvözt-hengerelt acéllemezeket is tartalmazó, merőleges beépítésű

rétegelt páncélzatból készült. A páncéltest alapvetően RHA hegesztett acéllemezekből készül, keményített felső réteggel. Szerkezetét tekintve többrétegű – szendvicsszerkezetű – acélpáncélzat légrésekkel. A páncéltestet és a tornyot síklemezlapokból hegesztik össze, de a kialakított réteges páncélzat különféle légréseket (kamrákat) és egyéb védőképességet növelő nem fémes anyagokat (például kerámia) is tartalmaz. Az egyes Leopard 2 variánsoknál a két páncéllemez közötti légrésekben különféle keménységű acéllemezeket, típusváltozatoként eltérő összetételű elasztikus anyagokat, illetve más nem fémes anyagokat alkalmaznak.

A torony hegesztett – hengerelt, síklemez-kialakítású – páncéllemezekből álló, toronykoszorún forgó szerkezeti elem, amelynek páncélkialakítása kazamatás. A torony páncélzata elöl és oldalt is függőleges beépítésű lemezekből áll. A kazamatás páncéltest egy külső, valamint egy belső páncélzatból – páncéllemezrétegből – áll, ezek alkotják a kazamatatereket, amelyek páncéllemezekből hegesztéssel kialakított dobozszerkezetek. A kazamataterek a harckocsi legveszélyeztetettebb részein fokozzák a védelmet a zárt terekben elhelyezett különböző összetételű kompozit páncélkonstrukcióknak köszönhetően.

A torony tömege – csupán a páncélzatot tekintve – mintegy 8 tonna, ezt egészíti ki a mintegy 4 tonnás fő fegyverzet és az egyéb rendszerek (tűzvezető rendszer, rádió, belső kommunikációs berendezés, küzdőtérűtés stb.) tömege. A torony a harckocsiágyúval együtt 16 tonna tömegű, hidraulikus működtetésű (forgatású).

A torony homlokpáncélzata mintegy fél méter széles üreges szerkezet. Védettségre jellemző, hogy kinetikus lövedékkel szembeni ellenállása a toronyrészen legalább 600 mm, a harckocsitest homlokpáncélján szintén hozzávetőleg 600 mm vastagságú hengerelt acéllemezrel egyenértékű (ekvivalens páncélvastagságú). A 120 mm űrméretű APFSDS (Armor Piercing Fin Stabilized Discarding Sabot – űrméret alatti szárnystabilizált, leválóköpenyes) lövedékek mintegy 1,3 km távolság felett, a 152 mm űrméretű kumulatív, illetve 105 mm űrméretű volfrám-karbid kemény magvas APFSDS lőszernek ennél közelebből sem képesek átütni a páncélzatot.¹⁴

A torony védettségét növeli a hátsó részében kialakított elkülönített lőszertároló kamra (páncélkazetta).¹⁵ Az ott elhelyezett (málházott) 15 db (3 sorban 5-5 db) készenléti lőszer tárolása így a küzdőtértől elkülönített lőszertároló térben történik. Ennek a kamrának elkülönített kialakítása a harc során bekövetkező esetleges lőszerrobbanás esetén megvédi a kezelő személyzetet a robbanás erejétől az előre meggyengített szerkezeti elemeknek köszönhetően, semleges irányba (felfelé) elvezetve a robbanás gáznyomását.

A harckocsi víz alatti átkelése során a torony parancsnoki búvónyílására szerelt búvócsövön keresztül jut levegőhöz a kezelőszemélyzet, valamint a motor. (Vízi átkelési mélysége 4 m, gázlómélysége 2,25 m. A víz alatti átkelőeszköz-készlet és a kipufogógáz-hűtő a külön málházott, esetileg felszerelt különleges berendezések körébe tartozik.) A toronyban kapott helyet – egyéb rendszerek mellett – a rádió és a tűzvezető rendszer is.

¹⁴ KELECSÉNYI István (2019b): A harcműszerek „nagy macskái” – a Leopard 2-es harckocsicsalád II. rész. *Haditechnika*, (4), 65.

¹⁵ BOMBAY–GYARMATI–TURCSÁNYI 1999: 15.

Az elektronikai blokkokat a torony hátsó részének középső-belső szekciójában helyezik el, ami – a védett elhelyezés következtében – növeli az eszköz harci túlélőképességet.

A harckocsitest páncélzatának és hordozószerkezetének tömege 12 t. Az alvázon az oldalpáncélzat és a futómű felső harmadát kötényzet védi, amely a futómű szerelhetőségének, karbantarthatóságának (és a harckocsi vasúti szállíthatóságának) érdekében felhajtható. A küzdőtér belső felületét repeszek elleni védelemmel látták el. A harckocsiaknak hatásának csökkentésére a harckocsi haspáncél-kialakításánál bordákkal merevített kialakítást alkalmaznak. A motor- és az erőátviteli tér a páncéltest hátsó részében található.

A küzdő-, valamint a motor- és az erőátviteli teret tűz- és robbanásbiztos páncélfal választja el egymástól. A robbanásbiztos betéttel ellátott üzemanyagtartályok a harckocsitest két oldalán helyezkednek el. A harckocsi víz alatti átkelése során a motor levegőellátása érdekében a vízi átkelés során hidraulikus működtetésű ajtót nyitnak meg a küzdőtér és a motortér között. A páncéltest elejében, a harckocsivezető bal oldalán is kialakítottak egy lőszertároló kamrát.

A harckocsi automata tűzoltó rendszere 4 db tűzoltó palackkal rendelkezik, amelyet a vezető mögötti térben helyeztek el.

A harckocsi álcázófestése foltos kialakítású álcafestés, amely mintázata jelentősen gátolja az optikai, illetve a nem látható fénytartományba eső felderítést.

A harckocsi tűzerejét biztosító rendszerek

A harckocsi tűzerőt biztosító rendszerei: a fegyverzet, a lőszerkészlet és a tűzvezető rendszer.¹⁶

A harckocsi fő fegyverzete a Rheinmetall cég által gyártott L/44 űrmérethosszúságú (kaliberhossz, L/D viszony), 120 mm űrméretű sima csövű harckocsiágyú. A fegyverrendszer össztömege mintegy 3,8 tonna, ebből az ágyúcső közel 2 tonna. Az ágyúcsövet hőszigetelő borítással, füst- és gázelszívóval és vízszintesen mozgó ékzárral látták el. A cső belső felülete – számításba véve a löporgázok mintegy 670–700 MPa nyomását – az élettartam növelése céljából krómozott, hátrasiklása mintegy 350 mm. A torony függőleges tengely körüli forgatását hidraulikus toronyforgató rendszer végzi. A löveg lőszer-javadalmazása 42 db. Az elhasznált lőszerhüvelyeket az ékzár alatti acéllemez gyűjtőkonténerben tárolják a következő feltöltésig.¹⁷ A harckocsi kiegészítő fegyverzetéhez 2 db 7,62 mm űrméretű géppuska tartozik, amelyből az egyiket a löveggel párhuzamosan, míg a másikat a parancsnok vagy a töltőkezelő búvónyílása fölé helyezik el (lőszer-javadalmazás 4750 db).

¹⁶ KURCZ Kristóf – VÉG Róbert – HEGEDÜS Ernő (2020b): Magyar Honvédség A4 és A7+ típusváltozatai II. rész. *Haditechnika*, (6), 19–20.

¹⁷ Military Archive [@military_archive] (2020): Inside the Leopard 1A5–Tank Gunnery Loading. *YouTube*, 2020. március 18.

A torony oldalpáncélatán oldalanként még 8-8 db 76 mm-es ködgránátvető is helyet kapott, amelyet harcászati célú gránáttal is elláthatnak.¹⁸

A fő fegyverzet nem osztott felépítésű, részben elégő hüvelyű és acélból készült hüvelyfenéklemez löszert használ. Lövés után csak a hüvelyfenék marad meg. A löszerek közül páncélatütő képesség szempontjából a leghatékonyabb az űrméret alatti volfrám-, kemény magvas, leváló köpenyes, nyíllövedék típusú páncéltörő (APFSDS-T – Armor Piercing Fin Stabilized Discarding Sabot-Tracer) löszert. A HEAT MP-T (High Explosive Anti-Tank-Multi Purpose – Tracer) részben kumulatív többcélú repeszgránát – a repeshatás és az üreges (kumulatív) töltet kombinációja következtében – élőerő és páncélozott célok ellen egyaránt hatásos. Kezdősebessége 1650 m/s, illetve 1140 m/s. A „nyíllövedék” 1650 m/s kezdősebességéhez 750 mm homogén acélpáncél-átütési képesség társul, amely bármely ma ismert harckocsi leküzdésére alkalmassá teszi a Leopard 2A4-et. A löszerek egyesítettek, a löszert-javadalmazásból 15 db készenléti löszert a toronyban helyeztek el, míg további 27 db a teknő bal első rekeszébe kapott helyet (2. táblázat).

2. táblázat: A Leopard 2 harckocsi fő fegyverzetéhez alkalmazott löszertípusok¹⁹

Típusjelölés	A löszert szerkezete	
DM-23A1; DM-33A1; DM-43A1	űrméret alatti volfrám-, kemény magvas, leváló köpenyes nyíllövedék	normál
DM-53		továbbfejlesztett
DM-53A1		továbbfejlesztett, hőfüggetlen hajtóanyagú
DM-12; DM-12A1 DM-18A2–A4-ig DM-11; DM-11SQ	többcélú, repeszgránát és kumulatív töltet kombinációja	
DM-31	programozható töltésű (JMT) repeszgránát	
DM-88	űrméret alatti nyíllövedék	lőtéri felhasználás
DM-98	repeszgránát	

Forrás: a szerző szerkesztése KELECSÉNYI 2019a: 51. és KELECSÉNYI 2019b: 64. alapján

Az alkalmazott páncéltörő lövedékek még 2200 m távolságról is átütik a NATO-ban alkalmazott harckocsik páncélatának többségét (amely rendszerint erősebb a szovjet/orosz típusokénál, így azokat feltételezhetően 3000–4000 méteren is képesek megsemmisíteni). Alkalmazható a Merkava 3-hoz kifejlesztett izraeli LAHAT lézerirányítású páncéltörő rakéta is,²⁰ mintegy 6000 m-ig hatásos lőtávolsággal, de ehhez modernizált tűzvezető rendszert kell alkalmazni.²¹

¹⁸ Michael JERCHÉL (2012): *Leopard 2 Main Battle Tank 1979–98*. [H. n.]: Bloomsbury Publishing.

¹⁹ A DM-11 típusok és a programozható gránátok más típusú ékzárt igényelnek, ezért a 2A4 típusokban nem, csak a későbbi verziókban alkalmazhatóak.

²⁰ Rheinmetall AG (2006): *Lahat for Leopard 2 Tanks*. *Defence aerospace*, 2006. október 4.

²¹ Az ezredfordulótól zajlanak Leopard harckocsival kapcsolatos páncéltörő rakéta-kísérletek, amelyek 4000–6000 m távolságon hatékonyak. A Lahat lézerirányítású rakéta 6000 m-en 0,3 m pontossággal ér el találatot.

A parancsnok Rheinmetall/Zeiss PERI R-17 optikája hőképképező kamerával rendelkezik, így a harckocsi nappal, éjjel, rossz látási feltételek közepette, álcázott célokkal szemben is hatékonyan alkalmazható. A periszkóp girosztabilizált, éjszakai megfigyelésre és célmegjelölésre egyaránt alkalmas és képes a céltárgyról hőképet vagy infravörös képet is megjeleníteni. Tűzvezető rendszere Hughes–Krupp Atlas Elektronika EMES 13/15 típusú. Az EMES-15 tűzvezető rendszer tartalmaz egy YAG²² típusú lézertáv mérőt és egy HgCd-Te-, más néven CMT-érzékelőt²³ tartalmazó Zeiss WBG-X típusú hő- és infravörös kamerát.

A tűzvezető rendszer a megfelelő lőszer kiválasztása és betöltése után a löveget automatikusan a kiválasztott célra vezérli. A lézeres távmérő mérési tartománya – 10 m-es mérési pontossággal – 200–9900 m közötti. Az alkalmazott EMES- és a PERI-rendszerek mintegy 50%-kal nagyobb észlelési hatótávolsággal rendelkeznek a velük egyidős orosz (szovjet) harckocsiknál.²⁴

A toronyforgatást és a löveg mozgását egyaránt hidraulikus rendszer végzi. A harckocsin két független hidraulikarendszer található, a tornyon lévő rendszer hidraulikaszivattyúja a torony jobb hátsó oldalrekeszébe helyezkedik el és elektromos meghajtású (míg az alváz hidraulikarendszere a nyomaték váltóról kapja meghajtását). A 160 bar üzemi nyomású toronyhidraulika segítségével történik a torony mozgása, illetve a harckocsi-ágyú stabilizálása (míg a harckocsitestben lévő hidraulikarendszer a rögzítőfők oldásáért és a víz alatti átkelés alatt a motortéri szellőzőajtó nyitásáért felel). A hidraulikarendszerek mindegyike tartalmaz nitrogénfeltöltésű hidroakkumulátort (nyomástárolót) is.

A harckocsi mozgékonyágát biztosító rendszerek

A harckocsi meghajtásáról úgynevezett *power pack* (erőátviteli blokk) gondoskodik, amely a dízelmotor és az automata nyomaték váltó közös egysége. A hidrodinamikus nyomaték váltó a harckocsitestbe hosszában beépített, több mint 3 m hosszú, 12 hengeres dízelmotor mögött helyezkedik el. A hosszában beépített dízelmotorhoz képest keresztirányban – mintegy „T” alakban – építették be a nyomaték váltót. A nyomaték váltó tetején helyezték el a kétgyűrűs folyadék hűtőt. A motor és a nyomaték váltó együttes tömege 6120 kg, amely egyben kiemelhető, cserélhető, megkönnyítve a harctéren a motorcserét, a javítást és a karbantartást. A harckocsi motorjának és erőátvitelének közös kenőrendszere bontható gyorscsatlakozó pontok segítségével egy egységben kiemelhető, így terepen 35 perc, laktanyában 15–20 perc alatt kicserélhető az erőátviteli blokk.

A Leopard 2 harckocsi erőforrása négyütemű, 12 hengeres, 47 600 cm³ lökettérfogatú, 90°-os V-henger elrendezésű, turbófeltöltős, vegyes üzemű, folyadék hűtéses, MTU gyártmányú, MB-873 Ka-501 típusú dízelmotor. A motor teljesítménye 2600 l/min-nél 1100 kW (1500 LE). Nyomatéka 1600 l/min fordulatszámnál 4700 Nm.

²² Yttrium–aluminium–garnet, azaz ittrium–aluminium–gránát szintetikus kristályrács (Y₃Al₅O₁₂).

²³ Higany–kadmium–télurit- vagy Kadmium–Mercury–Tellurides-érzékelő.

²⁴ KURCZ–VÉG–HEGEDŰS 2020b: 19–20.

A két hűtőventilátor meghajtásához szükséges teljesítmény értéke elérheti a 200 LE-t. A rendelkezésre álló motorteljesítménnyel való jó gazdálkodás érdekében a harckocsi gyorsításának időszakában a ventilátorok meghajtása kikapcsolható.²⁵

Az erőforrás száraz tömege 2750 kg, amely a szükséges mennyiségű motorolajjal feltöltve 2850 kg-ra növekszik. A „mindenevő” dízelmotor békekiképzésen F-54 gázolajjal, háborús körülmények között, NATO-műveletekben F-34/JP8 kerozinnal üzemel a NATO Single Fuel Conception alapján. A harckocsi-üzemanyag javadalmazása 1200 l, a motor átlagos üzemanyag-fogyasztása 100 km-en műuton 220 l, így hatótávolsága 550 km, míg terepen ez az érték 220–280 km-re csökken.

A RENK gyártmányú HSWL 354 nyomatékvtáló hidrodinamikus működtetésű, bolygómvés felépítésű, hidrodinamikus tengelykapcsolóval egybeépített automata sebesség-váltó, amely négy előre- és két hátrameneti sebességfokozattal rendelkezik.²⁶

A hidromechanikus erőátviteli berendezéshez az alábbi, egy kihajtásblokkba épített rendszerek tartoznak:

- differenciál-kihajtóművek;
- hidrodinamikus lassító fék;
- lamellás mechanikus fékek;
- hidrosztatikus kormánymű.

3. táblázat: A Leopard 2A4 és a T-72 harckocsi hadműveleti és harcászati mozgékonyágjellemzői

	Leopard 2A4	T-72
Hatótávolság műuton	550 km	500 km
Hatótávolság terepen	280 km	250 km
Maximális sebesség előre	72 km/h	60 km/h
Maximális sebesség hátra	32 km/h	5 km/h
Gyorsulás ideje 0 km/h – 32 km/h	6 sec	10 sec
Lassítás	4 m/s ²	3 m/s ²
Helyben fordulás ideje	5 sec	Nem végrehajtható
Harci tömeg	55,2 t	41,5 t
Talajnyomás	0,83 N/cm ²	0,91 N/cm ²
Hasmagasság (elől/hátul)	550/500 mm	500 mm
Megengedett oldaldőlés	30%	40%
Leküzdhető emelkedő	66,6%	60%
Árokáthidaló képesség	3 m	2,8 m
Fajlagos teljesítmény	20 kW/t	13,8 kW/t
Lépcsőmászó képesség	0,9 m	0,83 m
Gázlóképesség	800 mm	1200 mm
Víz alatti átkelés	4 m	5 m

Forrás: a szerző szerkesztése CRANNY-EVANS et al. 2018, T-72 Tanks [é. n.] és NAGY 2020 alapján

²⁵ Nyugatnémet harckocsimotorok (Technika i Vooruzsenie alapján) (1978). *Haditechnika*, (4), 138–139.

²⁶ Description reversing and steering transmission HSWL 354 FOR LEOPARD 2 [é. n.]. RENK.

A kormánymű minden sebességfokozatban biztosítja a harckocsi különböző sugarú íveken történő kanyarodását. A harckocsi álló helyben a saját tengelye körül 5 másodperc alatt képes megfordulni. Maximális sebességről 3,6 másodperc alatt képes megállni.

A Leopard 2 A4 futóműve²⁷ oldalanként 7 db alumíniumöntvény futógörgőből, 4 db lánctartó görgőből, 1 db hátul elhelyezett láncmeghajtó kerékből, 5 db, a Z tengelyek házába integrált súrlódótárcsás lengéscsillapítóból (az 1., a 2., a 3., a 6. és a 7. futógörgőnél), 5 db hidraulikus lengőkarütközőből, torziós rugós felfüggesztésből, valamint fém- és gumi-csuklós, gumipárnás láncalpból áll.

A láncalp adatai:

- felfekvési hossza 4,92 m;
- 7500 km futásteljesítményre tervezett;
- oldalankénti 82 lánctag;
- oldalanként 164 db, acéllapra vulkanizált gumipárna.²⁸

A tervszerű fenntartási rendszer a Magyar Honvédségben

A haditechnikai eszközök fenntartási rendszere az 1980-as években kifejlesztett, azóta gyakorlatilag változtatások nélkül üzemeltetett tervszerű fenntartási rendszer (a továbbiakban: TFR).²⁹ Az üzemben tartás az üzemeltetett (használt, alkalmazott) haditechnikai eszközök üzemképes állapotban tartására és adott feladatra alkalmazhatóságának növelésére irányuló tevékenységek összessége.³⁰ Célja a technikai támogatás feladatain belül³¹ biztosítani a katonai műveletek sikeres végrehajtását.

Az üzemben tartás magában foglalja a technikai kiszolgálásokat és más különleges feladatokat, mint:

- a haditechnikai eszközök üzemeltetési körülményeinek, igénybevételi mutatóinak elemzését;
- a megfelelő technikai kiszolgálásokat;
- a harci alkalmazást célzó felkészítést;
- az eszközveszteség prognosztizálását;
- a megsérült és meghibásodott haditechnikai eszközök helyreállítását és visszatérítését.

Az üzemben tartási folyamat funkciói: tervezés; üzemeltetés (használat); technikai kiszolgálás, karbantartás; felkészítés harci alkalmazásra; helyreállítás; műszaki, hatósági vizsgálatok, mérések és hitelesítések; tárolás; selejtezés, továbbhasznosítás; nyilvántar-

²⁷ A. M. OGORKIEWICZ (1979): A Leopard 2 AV harckocsi (Armor 1978/1 alapján). *Haditechnika*, (2), 62–67.

²⁸ Oldalanként 18 db fém kapaszkodókarmokra cserélhető.

²⁹ GÁVAY György (2015): A tervszerű fenntartási rendszer és az amerikai forrásból származó páncélos és gépjármű-technikai eszközök karbantartási rendszere. *Honvédségi Szemle*, 143(4).

³⁰ AMACZI Viktor – ÁCS Tibor (1995): *Hadtudományi lexikon II.* Budapest: Magyar Hadtudományi Társaság. 1386.

³¹ FAZEKAS József (2000): *Szakmai szabályismeret.* ZMNE jegyzet. 4.

tás, elszámolás. Az MH technikai karbantartási rendszerének megfelelő működéséhez elengedhetetlen a szakképzett javító- és karbantartó állomány. Az állomány szaktudása és alkalmazhatósága adja azt a képességet, amely biztosítja, hogy hadi helyzetben használható – az igénybevételre alkalmas – technikai eszközök legyenek a telephelyek tárolójában elhelyezve. Ez a képesség a korábbi keleti blokkból származó eszközök állapotmegővését, felkészítését teszi lehetővé elsősorban, de ma már olyan eszközökkel rendelkezünk, amelyek javítási kapacitásigénye nem merül ki a kézi célszerszámokban és az olyan szaktudásban, amely nélkülözni kényszerül a korszerű diagnosztikai ismereteket. A páncélos és gépjárműtechnikai eszközök üzemfenntartási tevékenysége megvásárolt szolgáltatásként is megvalósítható. Ez a megoldás magas költségvonzattal rendelkezik, amelyet sok esetben az eszközöket rendszerben tartó MH-alakulatoknak éves szinten kell kigazdálkodniuk. Az MH TFR felépítését, valamint a rendszer működtetésével kapcsolatos alapvető szabályokat a 10/2017. szakutasítás melléklete³² tartalmazza. A TFR az üzemeltető alegységek, a páncélos és gépjárműtechnikai szolgálatok szakjavítói (szakalegységei), a központi javítószervek, a polgári vállalatok által meghatározott rendszerben és mélységben, tervszerű, megelőző jelleggel vagy szükség szerint végzendő technikai kiszolgálási és javítási feladatok összessége. A haditechnikai eszközök javításával missziós területen, illetve a javító-, karbantartó anyag ellátásával honi területen a HM Currus Zrt. foglalkozott.³³

A TFR feladata biztosítani a páncélos és gépjárműtechnikai eszközök (anyagok) folyamatos megbízható üzemkészségét, készletteljességét, előírt technikai állapotát, üzemeltetési tartalékát. A páncélos és gépjárműtechnikai eszközök tervszerű fenntartási rendszere hat fokozatból áll. Minden fokozat technológizált műveletek összessége, amelyeket a honvédségi szervezeteknek (kijelölt javítószerveknek) kell tervezni és végrehajtani:

- az első két fokozatot a kezelőszemélyzet által végrehajtott technikai kiszolgálások alkotják (1–2. TK);
- a második két fokozatot a szakjavító állomány által a kezelőszemélyzet bevonásával végzett technikai kiszolgálások jelentik (3–4. TK);
- az 5. és a 6. TK fokozatot pedig a tervszerű megelőző javítások alkotják központi javításba adás útján.

A páncélos és gépjárműtechnikai eszközök technikai kiszolgálása a végrehajtás szintje és a műveletek mélysége szerint négy fokozatra tagolódik. A technikai kiszolgálási fokozatok esedékességét a következő tényezők határozzák meg:

- naptári időnorma (két technikai kiszolgálás között maximálisan megengedhető időtartam);
- teljesítménynorma (két technikai kiszolgálás között teljesíthető, az eszköz használatára jellemző mutatómennyiség: kilométer, üzemóra, lövésszám stb.);
- végrehajtandó feladat (feladattól függően kell a technikai kiszolgálás valamelyik fokozatát elvégezni a meghatározott technikai állapot elérése érdekében, feladat előtt vagy után).

³² MH Üzemeltetési norma a Magyar Honvédség szervezetei kiképzési eszközzel és anyaggal történő ellátásához és a technikai eszközök üzemeltetéséhez. Melléklet a 10/2017. HVK LOGCSF szakutasításhoz.

³³ Hadiipari javítás [é. n.]. Currus.

A T-72 harckocsik esetében az igénybevétel előtti, alatti és utáni karbantartások munkaidőigényét 30–60-szorosan meghaladó 3. és 4. TK fokozatok következnek, amelyeket évente egyszer kell megtervezni.³⁴

A TFR valójában nem ad lehetőséget csak az állapot szerinti karbantartásra,³⁵ mivel idő- és teljesítménynorma alapján kötelezően előírt karbantartási elemeket tartalmaz. Van lehetőség szükség szerinti javításra, amely vagy a technikai kiszolgálások során, vagy a használat közben jelentkező meghibásodások megszüntetésére szolgál. Ebben a tekintetben már bizonyos fokig elavult rendszernek számít, mivel nincs lehetőség az eszközök valós használatához igazítani a technikai kiszolgálások végrehajtását.

A Leopard 2A4 harckocsi üzemben tartása

A Leopard 2A4 harckocsi üzemben tartási tevékenységei kidolgozott rendszer részét képezik. A harckocsi hordozórésze kiszolgálási rendszerének jelölése „F”, a fegyverzet-technikáé „W”.

A karbantartási rendszer³⁶ egyértelműen preventív jellegű és időciklushoz kötött elemeket tartalmaz. A karbantartási ciklusok idejét az „F” karakter utáni számmal jelölik:

- F1: háromhavonta;
- F2: félévente;
- F3: évente;
- F4: kétévente.

Minden karbantartási elem magába foglalja az előző elem feladatait is. A karbantartási utasításokban az üzemfenntartó állomány számára az anyagfelhasználási szint (1–3. szint) szerinti megkülönböztetés is jelölve van.

A karbantartások során elvégezhetőek:

- kenési feladatok;
- tisztítási feladatok;
- működésellenőrzési feladatok.
- az előbbiek kombinációja;
- részletesen leírt technikai kiszolgálási mozzanatok.

A „F” rendszer szintjei meghatározzák a feladatot ellátó állomány vagy szaktudás és képesség szintjeit. Más feladata van a kezelő állománynak, a csapatszintű karbantartó és javító állománynak, illetve vannak olyan feladatok, amelyeket csak megfelelő javítóbázison, ipari háttérrel igényelve lehet végrehajtani. Az osztrák és a német Leopard-üzembentartási

³⁴ A kerekes járművekkel ellentétben, amelyeknél 3-3-4-3-3-4... rendben történik a tervezés, a harckocsik esetében a 3-4-3-4... a tervezés módja.

³⁵ Kivételes esetekben a szakági vagy logisztikai előjáró engedélyével lehetséges.

³⁶ Hegedüs Ernő (2019): *A Leopard 2 A4 harckocsik ausztriai szervizháttéré*. Előadásjegyzet. Heereslogistikschule – Österreichisches Bundesheer, 2019. november 26–27.

szabályzatokat hasonló szerkezetben és szellemben alakították ki. A gyártó és az alkalmazó a karbantartási stratégiát együttesen átdolgozhatja, módosíthatja.

Osztárak és német példák a Leopard 2 üzemen tartására és annak szervezeti háttere

Az osztárak haderőben 1998-ban rendszeresítették a Leopard 2A4 harckocsit. Ezek a harckocsik 1984-es gyártású, felújított, tartós tárolásból kivett példányok voltak. Az osztárak haderő a harckocsik üzemfenntartásának érdekében létrehozta a welsi logisztikai központot (Armed Forces Logistic Centre – AFLC), amely javítóműhelyeket üzemeltet (a harckocsi motor- és váltófelújításának szintjéig), a szakanyag-raktározást és a műszaki személyzetek képzését is képes megvalósítani.

Az AFLC részeként tevékenykedik a Center of Technical Excellence Leopard 2 Wels (Leopard 2 kiválósági központ) szervezeti elem, amely képzési központként is funkcionál. Tevékenységét 2008-tól ISO minőségbiztosítási tanúsítvánnyal ellátva végzi. Az AFLC-n belül hadtáp-, illetve járműtechnikai intézetet is létrehozta. A technikai intézet pán-célozott harcjárművekkel, fegyverzettechnikával és robbanóanyagokkal foglalkozik.

A harckocsiterületen belül szakterületileg külön kezelik:

- a harckocsi tornyát (a fegyverzettechnikai rendszert);
- a harckocsi alvázát (a járműtechnikai rendszert).

A tartalékkalkatrész-bázis kialakítása a korábbi holland üzemeltetési és anyagfelhasználási adatok alapján valósult meg az osztárak haderő Leopard 2-esei esetében.

Az osztárak haderő részére a holland partner nemcsak a harckocsi dokumentációit, de a tanfolyam teljes tananyagát is átadta. A harckocsit üzemeltető technikusállomány és a harckocsikezelő személyzet képzése párhuzamosan folyt Hollandiában, illetve a Leopard 2-t gyártó KMW technikusai két évig jelen voltak az osztárak Leopard üzemeltetésben. Az osztárak haderőben a holland tapasztalatokra és a tananyagra, illetve a nélkülözhetetlennek bizonyuló KMW delegált szakértőire alapozva megindították a hazai Leopard 2-képzéseket.

Az osztárak harckocsizászlóalj anyagellátó százada egy üzemeltető-anyagellátó részzel rendelkezik, amelynek parancsnoka altiszt, és állományában fegyverzettechnikust, fegyvermestert, infrarendszer-üzembentartót, a toronyért és az alvázért felelős egy-egy szerelőt és híradó altisztet is alkalmaznak. A fegyvermester polgári képzettsége fémipari, és erre a bázisra építik rá a haderő fegyverzettechnikai képzését. Az üzemen tartási és javítási munkák többségét mindkét alkalmazó állam esetében maga a haderő végezte el a Leopard 2 harckocsikon.

A Leopard 2 elektronikai rendszereivel foglalkozó technikusállomány alapozásként külön képzést kap az alábbi témákban:

- fegyverzettechnika;
- mechanika-hidraulika;
- elektronikamodul.

Az osztrák üzemben tartási rendszer kialakításának legfontosabb tanulsága a Leopard 2 esetében az volt, hogy kiemelkedő fontosságú a saját haderőn belül, a katonai javító szervezeteknél a diagnosztikai képesség kialakítása, továbbá a megfelelő mértékű tartalékalkatrész-bázis létrehozása is.

A fegyverrendszer érzékelőinek (infraberendezések stb.) üzemeltetése önálló szakterületté vált, így a képzés is elkülönült.

Az üzemben tartás kiemelkedően fontos területévé vált a Leopard 2 harckocsi rendszerismerete, mivel a képesség, hogy milyen mélységben képesek a rendszerek, alrendszerek és egyes alkatrészek szintjéig eljutva a hibafeltárára, határozza meg, hogy a komplett harckocsi javításba küldésére, vagy csak blokkcserére, illetve egyetlen alkatrész cseréjére van-e szükség.

A csapatszintű javítószervezeteknél kétfévente teljes körű felülvizsgálatot tartanak a harckocsikon. F1 szintű felülvizsgálat: az alapszintű műszaki tevékenység, amelyet a kezelő személyzet végez. Az F2 technikai kiszolgálási szinten végrehajtott felülvizsgálatra példa: irányzóperiszkóp-beszabályozások elvégzése. Az F3 szintű bevizsgálást minden nyolcadik évben végzik el, de ezt – magas bonyolultsági foka miatt – már nem a csapatnál. Az F4 szintű karbantartás során (8–10 évente) javítanak, illetve tesztelnek harckocsimotort és -váltót. A harckocsit a nagyjavítások során teljes mértékben szét-szedik.

A Leopard 2 harckocsi üzemeltetéséhez az osztrák tapasztalatok alapján az alábbi berendezések és rendszerek szükségesek:

- oktató harckocsi (a szerelők kiképzéséhez is);
- daru a torony leemeléséhez, speciális szerszámkészletek a toronyhoz, a műszerekhez, a fegyverzethez;
- kiképzőszimulátorok;
- lézer-védőszemüvegek, mivel számos harckocsirendszer, illetve műhelyben végzett szabályozás lézeres;
- különféle tesztberendezések.

Összességében az AFLC Wels az alábbi műszaki tevékenységeket végzi:

- megelőző karbantartás;
- részegységek javítása és karbantartása;
- alkatrészgyártás és -felújítás;
- harckocsik bontása, berendezések és alkatrészek kiépítése;
- fékpadi mérések (erőátviteli fékpád, befecskendező-fékpád, motorfékpád);
- mérések elektromos laboratóriumban;
- rádiótechnikai anyagok javítása;
- kiképzéstechnikai anyagok javítása;
- raktározás.

A központ feladata a nemzetközi együttműködés a hasonló technikai eszközök (Leopard 2 harckocsit) alkalmazó államok haderőivel. A központ alkatrészbeszerzéssel is foglalkozik. Számos területen szerveznek tanfolyamokat (informatika, mechanika,

mechatronika, elektronika). A harckocsisebességváltó-mérőpad egyúttal a harckocsi-fékezést és -kormányzást is teszteli.

Hazai lehetőségek a Leopard 2 üzemben tartására

Jelen pillanatban a Leopard 2A4 harckocsik karbantartását, javítását a KMW által képzett szakemberek felügyelik, illetve végzik. Ezt a szaktudást a jövőben vagy meg kell vásárolni, vagy olyan szakemberekre van szükség, akik képesek azt elsajátítani, illetve továbbadni kollégáiknak. Az MH nem rendelkezik olyan központi javító-, képző- és egyben raktározási³⁷ feladatokat is ellátni képes intézménnyel, mint a Bundesheer, de a harckocsik alacsony száma ezt nem is indokolja. Érdemes viszont ezzel a kérdéssel foglalkozni, mivel a Leopard 2A7HU típusú harckocsik a közeljövőben megérkeznek, és az azokkal közös logisztikai igényeket azonos létesítményekkel lehetne kielégíteni.

Mindenképpen szükséges az alkatrészellátás és a diagnosztikai képességek kialakítása a közeljövőben, ebben a kérdésben a T-72 harckocsik igénye jóval kisebb, mint az újabb és a felújított harckocsiké.

A páncéljavítás az összetett szerkezetű ballisztikai védelmi rendszerek tekintetében szintén új képességet igényel, amelyet nem csapatszinten kellene megszervezni.

A Leopard 2A4 harckocsinak megvan a már alkalmazott karbantartási rendszere, amely csak egyetlen ponton, az időbeni tervezhetőségben egyezik az MH TFR rendszerével. Mindenképpen javasolt az eredeti üzemben tartási rendszer alkalmazása az újonnan beérkező páncélozott harcjárművek üzemeltetése során, és fokozatosan szakítani kell a több mint 40 éves TFR-rel.

Összefoglalás

Összességében elmondható, hogy a két harckocsitípus méretében, védettségében, tömegében és bonyolultságát és technikai színvonalát tekintve is eltér egymástól, és ez még látványosabb lesz a Leopard 2A7HU 2023-as megérkezésével. Érdemes lenne a Leopard harckocsik üzemeltetési tapasztalatainak feldolgozása és a hazai viszonyokra történő alkalmazása, amelyre remek lehetőséget biztosít a Leopard harckocsik üzemeltetését koordináló Leopard Users Group munkacsoport ülésein való szakmai részvétel biztosítása. Szintén sok haszonnal kecsegtet a már megvizsgált külföldi üzemeltetési rendszerek adaptációja, hiszen az új eszközök technikai biztosítási hátterét a Bundesheer is nagyon gyorsan létre tudta hozni.

A korszerű eszközök fedélzeti diagnosztikai rendszerei lehetővé teszik a részegységek, fődarabok állapotának gyors felmérését akár üzemeltetői szinten is, és ezt a képességet ki is kell használni csapattagozat-szinten is.

³⁷ Az új német beszerzésű harceszközök alkatrészeinek raktározási feladatait az MH Anyagellátó Raktár (MH ARB) Központi Raktár (Szentkirályszabadja) végzi.

A TFR mint rendszer a keleti blokkból érkező eszközöket kiszolgálta, de olyan, jóval rugalmasabb és befogadóbb rendszert kell kialakítani, amely az eltérő üzemfenntartási igényeket támogató német, török, francia, esetleg brit beszerzésű haditechnikai eszközök számára is megfelel, nem is beszélve a polgári forrásból származó felszerelésként üzemeltetett gépkocsikról.

Felhasznált irodalom

- A Magyar Honvédség főbb haditechnikai eszközei (2011). Székesfehérvár: Az MH Összhaderőnemi Parancsnokság kiadványa.
- AMACZI Viktor – ÁCS Tibor (1995): *Hadtudományi lexikon II.* Budapest: Magyar Hadtudományi Társaság. ISBN 963 04 5228 6
- BOMBAY László – GYARMATI József – TURCSÁNYI Károly (1999): *Harckocsik 1916-tól napjainkig.* Budapest: Zrínyi.
- CRANNY-EVANS, S. et al. szerk. (2018): *Jane's Land Warfare Platforms: Armoured Fighting Vehicles 2018–2019.* Couldson: IHS Markit.
- Description reversing and steering transmission HSWL 354 FOR LEOPARD 2 [é. n.]. *RENK.*
- FAZEKAS József (2000): *Szakmai szabályismeret.* Egyetemi jegyzet. ZMNE.
- GÁVAY György (2015): A tervszerű fenntartási rendszer és az amerikai forrásból származó páncélos- és gépjármű-technikai eszközök karbantartási rendszere. *Honvédségi Szemle*, 143(4).
- GYARMATI József (2000): *Haditechnikai ismeretek.* Budapest: Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem. Hadiipari javítás [é. n.]. *Currus*. Online: www.currus.hu/tevekenyseguink/hadiipari-javitas
- HEGEDÜS Ernő (2019): *A Leopard 2 A4 harckocsik ausztriai szervizhátttere.* Előadásjegyzet. Heereslogistikschule – Österreichisches Bundesheer, 2019. november 26–27.
- KELECSÉNYI István (2019a): A harcmezők „nagymacskái” – a Leopard 2-es harckocsicsalád I. rész. *Haditechnika*, 53(3).
- KELECSÉNYI István (2019b): A harcmezők „nagymacskái” – a Leopard 2-es harckocsicsalád II. rész. *Haditechnika*, 53(4).
- KELECSÉNYI István (2019c): A harcmezők „nagymacskái” – a Leopard 2-es harckocsicsalád III. rész. *Haditechnika*, 53(5).
- KURCZ Kristóf – VÉG Róbert – HEGEDÜS Ernő (2020a): Magyar Honvédség A4 és A7+ típusváltozatai I. rész. *Haditechnika*, (5).
- KURCZ Kristóf – VÉG Róbert – HEGEDÜS Ernő (2020b): Magyar Honvédség A4 és A7+ típusváltozatai II. rész. *Haditechnika*, (6).
- MH üzemeltetési norma a Magyar Honvédség szervezetei kiképzési eszközzel és anyaggal történő ellátásához és a technikai eszközök üzemeltetéséhez. Melléklet a 10/2017. HVK LOGCSF szakutasításhoz.
- Michael Jerchel: *Leopard 2 Main Battle Tank 1979–98.* Bloomsbury Publishing, 2012.
- Military Archive [@military_archive] (2020): Inside the Leopard 1A5–Tank Gunnery Loading. *YouTube*, 2020. március 18. Online: <https://youtube.com/watch?v=ovO9MwX5LIU>
- NAGY Norbert (2020): A T-72 harckocsi. [H. n.]: Zrínyi. ISBN 978963 327 824
- Nyugatnémet harckocsimotorok (Technika i Vooruzsenie alapján) (1978). *Haditechnika*, (4).
- OGORKIEWICZ, A. M. (1979): A Leopard 2 AV harckocsi (Armor 1978/1. sz. alapján). *Haditechnika*, (2), 62–67.

Poór István szerk. (1980): *Harcokcsik és páncélozott járművek típuskönyve*. Budapest: Zrínyi.
Rheinmetall AG (2006): Lahat for Leopard 2 Tanks. *Defence aerospace*, 2006. október 4. Online:
<https://defense-aerospace.com/laser-guided-missile-offered-for-leopard-tanks/>
T-72 Tanks [é. n.]. *Military-Today.com*. Online: <http://military-today.com/tanks/t72.htm>

Éghajlatváltozás – szélsőségek – biztonság

A globális felmelegedés és az ezzel együtt járó szélsőségesebb időjárás hozzájárul az államok belső nehézségeinek erősödéséhez. Az éghajlatváltozás a világ biztonságát negatívan befolyásolja, következményei veszélyeztethetik mindennapjainkat. A következő évtizedekben, különösen a sérülékeny régiókban, számolni kell az éghajlatváltozás okozta, korábban a területre nem jellemző élelmiszerhiánnyal, vízellátási válságokkal, árvizekkel, egészségügyi problémákkal, a megváltozott éghajlattal együtt megjelenő szélsőségekkel, betegségekkel, amelyek humanitárius segítségnyújtást vagy katonai választ tesznek szükségessé. A NATO elkötelezett a folyamatok megértésében, a következmények mérséklésében a műveletek hatékonyságának növelése, a technikai felszerelés működőképességének fenntartása, valamint az állomány túlterhelésének elkerülése érdekében.

A tanulmányban röviden összefoglalom Európa és hazánk éghajlati szélsőségeit, kiemelve a változó, melegedő éghajlati körülmények fennállásával együttesen módosuló néhány meteorológiai paraméter (hőmérséklet, csapadék, szélsébség) megfigyelt és várható értékeit, tendenciáit. Ezek hatásai összetettek, ezért csak komplex módon, több szakterület összefogásával, interdiszciplináris gondolkodással kezelhetők az éghajlatbiztonság és az energiabiztonság növelése érdekében.

Kulcsszavak: globális felmelegedés, éghajlatváltozás, biztonság, időjárási szélsőségek, megújuló energia

Climate Change – Weather Extremes – Security

Global warming and extreme weather phenomena could conduce to interior difficulties of states as a risk multiplier. Climate change threatens the international peace and security. Environmental degradation will cause health problems (epidemics and new, uncharacteristic diseases), floods, food and water insecurity especially in vulnerable regions in the next decades. To tackle these problems, humanitarian help or military activity is often needed. NATO remains committed to understand processes and mitigate consequences in order to maintain operability of technical equipment and avoid overload of soldiers.

This study shows some weather extremes in Europe and Hungary that have a close connection to the changing climate. Their effects can be really complex, therefore we should tackle this issue interdisciplinary in order to mitigate security impact and enhance climate and energy security.

Keywords: global warming, climate change, security impact, weather extremes, renewable energy

Bevezetés

A globális felmelegedés, a klímaváltozás és az ezzel gyakran együtt járó szélsőséesebb időjárás, valamint a környezeti állapotok romlása növelheti az államok belső nehézségeit, emellett elősegítheti országok közti konfliktusok kialakulását is. Az éghajlatváltozás a világ biztonságát egyértelműen negatívan befolyásolja, következményei veszélyeztetik a lakosok mindennapjait. A túlnépesedés és a fennálló társadalmi, gazdasági, szociális, ökológiai és humán krízisek az éghajlatváltozás következményeivel együtt tovább növelik a sebezhetőséget, a hatásoknak való kitettséget, gazdasági zavarokat okoznak, mezőgazdasági problémákat generálnak, növekvő védekezési költségekhez vezetnek.

A vonatkozó tanulmányok szerint¹ az éghajlatváltozás súlyosbítja a meglévő feszültségeket, és megsokszorozza a fenyegetéseket. Ezáltal feszültségeket, konfliktusokat, akár helyi szintű fegyveres zavargásokat is okozhat, amely összeütközések várhatóan a természeti erőforrások (édesvizek, halászterületek, erdők, termőföldek stb.), illetve a katasztrófák által kevésbé sújtott lakhelyek birtoklási igénye miatt alakulhatnak ki. A következő évtizedekben a sérülékeny régiókban, különösen a Szaharától délre fekvő afrikai országokban, a Közel-Keleten, Dél- és Délkelet-Ázsia térségében számolni kell az éghajlatváltozás okozta élelmiszerhiánnyal, vízellátási válságokkal, árvizekkel, amelyek humanitárius segítséget vagy katonai választ tesznek szükségessé. Ugyanakkor a fejlett világ országaiban is tapasztalhatunk súlyos negatív hatásokat, amelyek mérséklése érdekében előtérbe kerültek a mihamarabbi szemléletváltást sürgető nézetek, felhívva a figyelmet a megújuló energiahordozók széles körű alkalmazására, az energiahatékonyság növelésének fontosságára és a pazarló életvitel azonnali feladására.

A NATO tagországai, Magyarország is felelős és érdekelt a globális felmelegedést kiváltó okok, a katonai tevékenység általi üvegházhatású gázok kibocsátásának szükségzerű csökkentésében.² Az üvegházhatású gázok kibocsátása csökkenthető az üzemanyag- és az energia-felhasználás hatékonyságának növelésével, a fosszilis üzemanyagok felhasználásának csökkentésével, a megújuló energiák alkalmazásával. Ismeretes, hogy a katonai erő egyrészt okozója, másrészt elszennvedője az éghajlatváltozás hatásainak. Ebből kifolyólag a haderőnek arra is fel kell készülnie, hogy a megszokottnál szélsőséesebb környezetben hajtsa végre feladatait, ami mind a katonákra, mind az eszközökre nézve megterhelőbb. Nem véletlen, hogy a hadtudomány kiemelt figyelmet fordít erre a kérdésre.³

Az éghajlatváltozás folyamatainak megértéséhez, valamint a változó környezeti feltételekhez való alkalmazkodás érdekében szükség van a múlt adatainak, valamint ezzel egyidejűleg a globális és a regionális éghajlati modellek eredményeinek elemzésére. A tanulmányban a teljesség igénye nélkül bemutatom a közelmúlt kutatásainak áttekintésével Európában megfigyelt és várható változásokat, a paraméterek átlagainak

¹ NATO (2022a): *NATO Strategic Concept*. NATO HQ; NATO (2022b): *NATO The Secretary General's Report: Climate Change & Security Impact Assessment*. NATO HQ.

² NATO 2022b.

³ PADÁNYI József (2022): *Kihívások, kockázatok, válaszok. Az éghajlatváltozás okozta kihívások és azok hatása a katonai erőre*. Budapest: Ludovika.

alakulását, valamint az extrémumok várható módosulását. Részben saját kutatásaim alapján a Kárpát-medencében várható viszonyokat is összefoglalom, valamint a mindennapi életünket és a biztonságunkat (vízbiztonság, energiabiztonság, egészségügyi biztonság, katonai biztonság stb.) is befolyásoló szélsőségeket. A természeti katasztrófák, a szélsőséges időjárási jelenségek gyakoribbá és/vagy intenzívebbé válásával a haderőre háruló feladatok – a természeti katasztrófák következményeinek felszámolása – hazánkban is növekvő tendenciát mutatnak, ráadásul a többletfeladatot szélsőségesebb körülmények között kell elvégezni.

Az éghajlatváltozás és a biztonság kapcsolata

Az éghajlatváltozás globális probléma, hatásai nem egyenlő mértékben jelentkeznek Földünk egyes helyein. Ismeretes például, hogy nagyobb mértékű melegedés mutatható ki a sarkokon,⁴ mint az alacsonyabb földrajzi szélességeken, az afrikai kontinensen pedig a súlyos csapadékhiány és az ezzel együtt járó elsivatagosodás, élelmiszer- és ivóvízhiány okoz további társadalmi feszültségeket. Az éghajlatváltozás következményei életünk szinte minden területét befolyásolják, bár a hatások mértéke regionálisan változó, hiszen az a környezet állapotán túl társadalmi, gazdasági, szociális, politikai tényezők függvénye is.

A világ biztonságát számos módon befolyásolja az emberi tevékenység eredményeképpen tapasztalható, rendkívül gyors változásokat mutató éghajlat, amely hatások lehetnek közvetlenek és közvetettek.

Az emelkedő hőmérséklet tehető közvetlenül felelőssé az elsivatagosodásért, lakhatatlan területek, aszályok, erdőtüzek kialakulásáért. A melegedéssel együtt jár a tengerszint emelkedése, amely veszélyezteti a parti városokat, katonai bázisokat, áradásokat, belvizeket okoz, továbbá a sós víz károsítja az infrastruktúrát, veszélyezteti az édesvízkészleteket és a mezőgazdasági területeket. A melegedő légkörben az extrém időjárási események előfordulási gyakorisága és intenzitása is megváltozhat, számítani kell szárazságra, hőhullámra, áradásra, sárcsuszamlásra, viharokra, illetve hirtelen lezúduló nagy mennyiségű csapadék okozta villámárvizek kialakulására, amelyek emberéleteket, vagyontárgyakat és a kritikus infrastruktúrát is veszélyeztethetik, időszakosan akár működésképtelenné is tehetik. A közvetett vagy másodrendű hatások közé soroljuk a komplex ökológiai, társadalmi, gazdasági, politikai hatásokat.

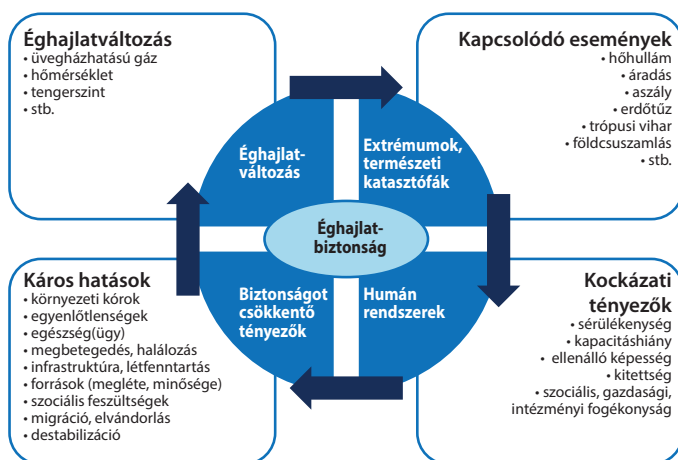
Az éghajlatváltozás a meglévő veszélyeket, feszültségeket felerősítheti, a konfliktusok eszkalálódásához vezethet a szociális és gazdasági állapotok romlásával, a munkanélküliség növekedésével, hiszen ezek révén tovább növekednek a társadalmi különbségek, a csoportok közti feszültségek.⁵ A különösen sérülékeny régiókban (például fejlődő országok) a szűkös erőforrások az éghajlatváltozás hatására tovább csökkennek, ami

⁴ T. J. BALLINGER et al. (2020): *Surface Air Temperature*. NOAA Arctic Report Card 2020.

⁵ D. HELMAN – B. F. ZAITCHIK – C. FUNK (2020): Climate has contrasting direct and indirect effects on armed conflicts. *Environmental Research Letters*, 15(104017), 12.

súlyos élelmiszer-, víz- és energiahiányt generálhat.⁶ Mindemellett a lakosság leromlott egészségi állapota miatt kialakuló betegségek, járványok (például malária), valamint az elégtelen egészségügyi ellátás, gyógyszerhiány tovább súlyosbíthatja a helyzetet, akár humanitárius katasztrófa is felléphet. Az éghajlatváltozás hatásainak kitett térségekben az elszegényedett, kiszolgáltatott lakosság könnyen radikalizálható, a szélsőséges szervezetek érdekei szerint manipulálható, ami a térség biztonságát tovább csökkenti. Mindezen folyamatok, a lakhatatlanná váló területek, a létbizonytalanság, a minimális életfeltételek hiánya vagy a terrorizmus, elősegítik a lakosság országon belüli, illetve szomszédos, esetleg távolabbi országokba történő tömeges elvándorlását, ami a katonai erők számára többletfeladatot jelent az állam belső és külső biztonságának garantálása érdekében.

Az 1. ábra szemlélteti az éghajlatbiztonságot befolyásoló tényezőket, ezek kapcsolatát. Az éghajlatváltozással együtt járó extrém időjárási események (hőhullám, áradás, aszály, erdőtűz, viharok, földrencsuszamlás stb.), amelyek természeti katasztrófa-helyzetet is előidézhetnek, intenzitásának és gyakoriságának megváltozása, valamint a humán rendszerek sérülékenysége, kapacitása, ellenálló képessége, kitettsége együttesen határozza meg a biztonságot csökkentő tényezőket, a keletkezett károk jellegét, mértékét. A káros hatások meglehetősen szerteágazóak lehetnek, így kezelésük is komplex, több szakterületet átfogó gondolkodást igényel. A biztonságot csökkentő tényezők tovább súlyosbíthatják az éghajlatváltozás okozta káros folyamatokat, elmélyítve a problémát.



1. ábra: Éghajlatbiztonságot befolyásoló folyamatok

Forrás: a szerző szerkesztése Expert Group of the International Military Council on Climate and Security 2021 alapján

A szövetség elkötelezett az éghajlatváltozás folyamatainak megértésében, következményeinek mérséklésében a műveletek hatékonyságának növelése, a technikai felszerelés

⁶ TRESZKAI Ákos (2019): Az éghajlatváltozás biztonsági hatásai a szubszaharai térségben. *Honvédségi Szemle*, (4), 65–76.

működőképességének fenntartása, valamint az állomány túlterhelésének elkerülése érdekében. Magyarország Nemzeti Biztonsági Stratégiája⁷ a kiemelt biztonsági kockázatok közt említi a járványokat, az ár- és belvizeket, valamint más természeti katasztrófákat (aszályok, hő- és hideghullámok, heves viharok, vegetációtüzek). Az éghajlatváltozás már nem kerülhető el, életünk része, ugyanakkor az alkalmazkodás mellett világszerte nagy hangsúlyt kap a negatív hatások mérséklése is, amely a katonai tevékenység szempontjából is kritikus. Számos példát találhatunk a katonai feladatok, műveletek során a nap- és szélenergia hasznosítására, illetve az épületek energiahatékonyságának növelésére.

Éghajlati és időjárási szélsőségek

Az éghajlatkutatásban a múltra vonatkozó, hosszú idősorok (jellemzően több évtized), meteorológiai elemek vagy változók elemzése matematikai statisztikai módszerek alkalmazásával történik. Az éghajlati kutatások statisztikai vizsgálatai rámutattak, hogy a változó éghajlatban az egyes meteorológiai elemek eloszlása klimatológiai időskálán gyakran módosul. A megváltozott eloszlásból adódóan eltérő lehet a szélsőséges, ritkán előforduló időjárási események gyakorisága, intenzitása is a referencia-időszakhoz viszonyítva.⁸

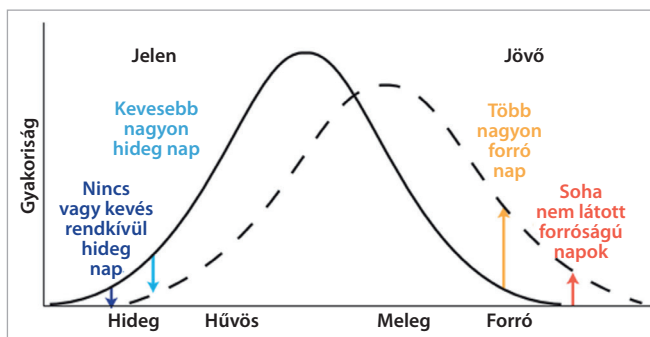
A változás többféle módon jelentkezhet az eloszlásban:⁹ eltolódhat a maximum helye (magasabb értékű, de azonos gyakorisággal előforduló átlagérték), módosulhat a maximum gyakorisága azonos érték megmaradásával (szélsőértékek változása), illetve ezek együttesen is bekövetkezhetnek. A 2. ábra sematikusán mutatja be, hogy a megváltozott éghajlat hatására nemcsak a mért értékek átlaga (például átlaghőmérséklet), hanem a szélsőségek nagysága és előfordulási gyakorisága is változik. A példában az átlaghőmérséklet növekszik, bár kevesebbszer fordul elő, ugyanakkor a rendkívül hideg események száma minimálisra csökken, ahogy a hideg napok száma is, miközben a forró napok száma gyarapszik, sőt akár soha nem mért hőmérsékleteket is regisztrálhatunk. Több helyen hőmérsékleti rekordok dőltek az idei nyáron is, esetenként abszolút rekordok, például Angliában, ahol a mérések óta nem fordult elő 40 fok feletti hőmérséklet, most Coningsby településen 40,3 °C-ot mértek 2022. július 19-én, amely az előző, 2019-ben regisztrált abszolút rekordot jelentősen, mintegy 1,5 °C-kal meghaladta.¹⁰

⁷ 1163/2020. (IV. 21.) Korm. határozat Magyarország Nemzeti Biztonsági Stratégiájáról.

⁸ M. BENISTON et al. (2007): Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Climate Change*, (81), 71–95.; G. FORZIERI et al. (2016): Multi-hazard assessment in Europe under climate change. *Climate Change*, (137), 105–119.

⁹ A. LAVELL et al. (2012): Climate change: new dimensions in disaster risk, exposure, vulnerability, and resilience. In C. B. FIELD et al. (szerk.): *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge – New York: Cambridge University Press. 25–64.

¹⁰ M. KENDON (2022): *Unprecedented extreme heatwave, July 2022*. Met Office National Climate Information Centre.



2. ábra: A meteorológiai paraméter jelenlegi (folytonos vonal) és jövőbeni (szaggatott vonal) eloszlása az átlag helyének és értékének eltolódása mellett a változékonyság növekedését is mutatja

Forrás: Lavell et al. 2012.

A globális felmelegedés hatására tapasztalható éghajlatváltozás sok mindenben tetten érhető. Az éghajlat állapotáról az Egyesült Nemzetek (ENSZ) és a Meteorológiai Világszervezet (WMO) által kiadott tanulmány¹¹ szerint az elmúlt évtized (2011–2020) volt a valaha mért legmelegebb 10 év a meteorológiai mérések kezdete óta, mi több 2020 volt a La Niña¹² hűtése ellenére a harmadik legmelegebb év. A *globális átlaghőmérséklet* hét év alatt, 2015–2021 között gyorsabban emelkedett, mint bármely 50 éves periódust tekintve az utóbbi 2000 évben. 2021 már sorozatban a hetedik olyan év,¹³ amely több mint egy fokkal meghaladta (1,09–1,16 °C) az iparosodás előtti globális átlaghőmérsékletet. A melegedésért nagymértékben az emberi tevékenység, az üvegházhatásúgáz-kibocsátás tehető felelőssé. Európa és a Kárpát-medence gyorsabban melegszik a globális átlagnál, az éves átlag Európában a szárazföldi területek felett két fokkal meghaladta az iparosodás előtti értéket, 2020 pedig a valaha volt legmelegebb év lett. Magyarországon a 2022-es év volt a harmadik legmelegebb 1901 óta.

Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (IPCC) hatodik értékelő jelentésében olvasható éghajlati projekciók alapján¹⁴ Európában a melegedés tovább folytatódik, amely a szárazföldi területeken nagy valószínűséggel nagyobb mértékű lesz, mint a globális átlagérték. Az optimista scenárióval futtatott modellek, amelyek feltételezik az üvegházhatású gázok kibocsátásának erőteljes csökkentését, 1,2–3,4 °C, a pesszimista projekciók 4,1–8,5 °C melegedést mutatnak a század végére (2071–2100) az 1981–2010 referencia-időszakhoz képest. A legnagyobb mértékben várhatóan Északkelet-Európa, Skandinávia

¹¹ WMO (2021): *State of the Global Climate 2020*. WMO-No. 1264.

¹² Az El Niño jelenséget ellensúlyozza a La Niña, amelynek során szokatlanul alacsony légnyomás alakul ki Délkelet-Ázsiában, Ausztrália csapadékosabb vidékein és a Csendes-óceán nyugati medencéje fölött. A dél-amerikai partvidéken aszályt okoz, az Atlanti-óceán északi medencéjében erősíti a hurrikántevékenységet, illetve a tájfunokat a Csendes-óceán nyugati medencéjében.

¹³ 2021 one of the seven warmest years record, WMO consolidated data shows. WMO, 2022. január 19.

¹⁴ Summary for policymakers (2021). In V. MASSON-DELMOTTE et al. (szerk.): *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge – New York: Cambridge University Press.

északi része és a mediterrán országok tengerparttól távolabb eső, belső területei melegeknek, miközben Nyugat-Európa jóval kisebb mértékben.

Meteorológiai mérőállomások által rögzített, a WMO által egységesített, tehát összehasonlítható, 10 méteres magasságban végzett felszínközeli *szélmérések* adatai alapján csökkenő átlagos szélesebség figyelhető meg a melegedő klímában számos nemzetközi tanulmány alapján. A szélesebség-csökkenés mindkét féltekén, a trópusokon és a közepes szélességeken is kimutatható a vizsgált időszakokban (jellemzően a 20. század közepe óta), ugyanakkor a 70 foknál magasabb földrajzi szélességeken a kutatók növekvő trendeket találtak. Azon 148 db tanulmány figyelembevételével,¹⁵ amely több mint 30 állomás legalább 30 éves idősorait elemezte, a megfigyelt változások trendje 0,014 m/s csökkenés évente, amely ötven év alatt már 0,7 m/s csökkenést jelent, feltételezve a lineáris változás folytatódását. A változás iránya összhangban van a globális éghajlati modellek eredményeivel, amelyek ugyancsak a felszíni szélesebség csökkenését mutatják a közepes szélességeken, a magasabb szélességek szélesebség-növekedésével párhuzamosan.

A Közép-Európára vonatkozó mérési adatok és modelleredmények¹⁶ alapján a térségünkben megfigyelt, ciklontevékenységhöz köthető *viharok* számának növekedését mutatták ki az üvegházhatású gázok koncentrációjának emelkedésével, ami a közép-európai nyomási gradiens emelkedésével van kapcsolatban. Az IPCC hatodik jelentése szerint közepes megbízhatósággal állítható, hogy a viharok gyakorisága és intenzitása, beleértve az erős szeleket (nem trópusi viharokat), növekszik Észak- és Közép-Európában.¹⁷ Dél-Európában a viharok intenzitása várhatóan ugyancsak növekszik, a viharok gyakorisága azonban csökken. Ebből kifolyólag nagy valószínűséggel erősebb szélviharokra számíthatunk a továbbiakban Magyarországon.

A Kárpát-régió hegyvidéki területeinek *átlagos szélesebsége*re vonatkozó trend-vizsgálatainak¹⁸ eredményei minden hónapban csökkenést mutatnak, ami összhangban van a közepes szélességek megfigyeléseivel. Bár a modellek alapján a csökkenés a század végére is jellemző marad, ugyanakkor a viharok intenzitásnövekedése is várható. Az Európai Akadémiák Tudományos Tanácsadó Testületének tanulmánya¹⁹ szerint az extrém szélesebségek Európa északi részén növekedtek, délen csökkentek. Közép-Európa átmenetet képez a térségben, ezért az itt tapasztalható változások sok esetben kicsik, és irányuk régióként változó lehet.

Hazai szélklimatológiai vizsgálatok – a CARPATCLIM²⁰ projekt adataira építve – ugyancsak kimutatták az átlagos szélesebség szignifikáns csökkenését.

¹⁵ T. McVICAR et al. (2012): Global review and synthesis of trends in observed terrestrial near-surface wind speed: Implications for evaporation. *Journal of Hydrology*, 416–417, 182–205.

¹⁶ G. LECKEBUSCH et al. (2008): Extreme wind storms over Europe in present and future climate: a cluster analysis approach. *Meteorologische Zeitschrift*, 17(1), 67–82.

¹⁷ S. OUTTEN – S. SOBOLOWSKI (2021): Extreme wind projections over Europe from the Euro-CORDEX regional climate models. *Weather and Climate Extremes*, 33(100363), 11.

¹⁸ J. SPINONI et al. (2014): Climate of the Carpathian Region in the period 1961–2010: climatologies and trends of 10 variables. *International Journal of Climatology*, (35), 1322–1341.

¹⁹ EASAC (2013): *Trends in extreme weather events in Europe: implications for national and European Union adaption strategies*. EASAC Policy Report 22.

²⁰ CARPATCLIM – A Kárpát-régió éghajlata projektjének célja a Kárpát-régió (44–50° É és 17–27° K) éghajlatának részletes tér- és időbeli vizsgálata volt (2010–2013) harmonizált adatok és egységes módszertan

A szélmaximumok vizsgálata során gyakran szélindexeket definiálunk, például meghatározhatjuk az adott küszöbértéknél nagyobb szélsőségek előfordulásának (havi, évszakos, éves) számát, időbeli változását. Az órás szélmaximumok (széllökés) esetében a vizsgált mérési idősorokban általában csökkenés tapasztalható, azonban néhány esetben megjelenik növekvő tendencia is, amely változások utalhatnak a melegedés hatására bekövetkező regionális áramlási viszonyok megváltozására.²¹

Nem elhanyagolható problémát okoz a viharokkal, viharciklonokkal együtt járó hirtelen lezúduló nagy mennyiségű *csapadék*, amely előnti az alacsonyabban fekvő területeket, pincéket, aluljárókat. A jelentős anyagi károkat okozó viharokat kísérő jelenség a jégeső²² is, amely megrongálhat tetőket, autókat, vagy megsemmisítheti a gyümölcsfák, szőlőültetvények termését. A szélviharok egész évben okozhatnak veszteségeket. Például 2020. február 4-én hazánkat gyors mozgású hidegfront érte el, amely Nyugat-Európától a Balkánon át Törökországig jelentős pusztítást okozott. Magyarországon a számottevő károk mellett sajnos halálos áldozatot is követelt. A legerősebb széllökéseket sík vidéken Sopronban (111 km/h) és a Balaton térségében, illetve a hegyi állomásokon mérték (a János-hegyen 124 km/h, a Kab-hegyen 120 km/h).²³

Az extrém időjárás hatásai a katonai tevékenységre

Az éghajlatváltozás elsősorban a szélsőséges időjárási jelenségek révén fejti ki hatását a katonai tevékenységre. A szélsőségesen magas vagy alacsony hőmérséklet, a hosszabb ideig fennálló hőhullám hat a technikai felszerelés üzemképességére, a személyzet terhelhetőségére, a logisztikai feladatok hatékonyságára. Rendszerint többletenergiát igényel a munkaterület hűtése, fűtése, klimatizálása. Az aszály, az áradás, a villámárvíz, az erős és viharos szél károkat okozhat a felszerelésben, az épületekben, az infrastruktúrában, illetve hatással van a csapatok mobilitására. Az intenzív havazás, hófúvás vagy homokvihar ugyancsak csökkenti a járművek és a személyzet helyváltóztató képességét, valamint a felderítés hatékonyságát.

Az éghajlatváltozás, a szélsőséges időjárás negatív hatással van az élet- és vagyonbiztonságra, sérüléseket okozhat, ronthatja a személyzet egészségi állapotát, ezáltal csökkenti a műveletek hatékonyságát, illetve a készenlét szintjét. A NATO-s és EU-s katonai műveletek missziós tapasztalatai egyértelműen azt mutatják, hogy a betegségek és a nem harci eredetű sérülések több kórházi ápolási napot, szolgálatmentességet okoztak, mint

alapján, illetve részletes rácsponthoz adatbázis előállítás az 1961–2010 időszakra, amely napi adatsorokat 10 km-es felbontásban tartalmaz a legfontosabb meteorológiai elemekre. CARPATCLIM–A Kárpát-régió éghajlata [é. n.]. *Met.hu*.

²¹ PÉLINÉ N. Cs. et al. (2016): Analysis of climate change influences on the wind characteristics in Hungary. *IDŐJÁRÁS. Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 120(1), 53–71.

²² Egy jelentős jégesővel járó átvonuló hidegfront okozott komoly károkat például 2021. április 22-én, amelynek hatására Szlovákiában tornádó is kialakult. Zivatarlánc, szupercella kísérte a hidegfrontot (2021). *Nemzeti Agrárgazdasági Kamara*, 2021. április 23.

²³ A tanulmányt az Országos Meteorológiai Szolgálat készítette: OMSZ (2020): Hosszan tartó szélvihar egy markáns hidegfront nyomában. *Met.hu*, 2020. február 10.

a harcok közben elszennvedett sérülések. Ezzel a hadrafoghatóság jelentősen csökkent, veszélyeztetve a katonai művelet sikerességét.²⁴

A Kárpát-medencére vonatkozó regionális klímamodell-projekciók szerint a globális átlagnál nagyobb mértékű melegedés várható hazánkban. Lényeges szempont tehát, hogy tisztában legyünk a hőség okozta teljesítménycsökkentő következményekkel. A hőstressz szignifikánsan csökkenti a katonai teljesítményt, hiszen rontja a kognitív teljesítményt, a reakcióidőt, az érzékelést, növeli a kardiovaszkuláris események kockázatát. Ezen túlmenően csökkenti az éberséget, ami például őrszolgálatban vagy az irányítóberendezések kezelésekor vagy ellenőrzésekor hátrányos. A szokatlanul magas vagy alacsony hőmérséklet csökkenti a mentális és pszichomotoros teljesítményt, a kézügyességet, az állóképességet, a célzást és a célkövetést. Rontja a szimultán feladatok (például járművezetés, tűzvezető rendszerek kezelése stb.) végzését, az alvási ritmust és a szubjektív reakciókat, hatással van az érzelmekre, és csoportlélektani folyamatokat is befolyásol.²⁵

A szélsőséges időjárási körülmények között nagy jelentősége van a megfelelő ruházatnak és az egyén edzettségének, amellyel hatékonyan csökkenthetők a hőstressz negatív hatásai. Fontos továbbá a műveletek stratégiai tervezésénél az eszközök és a berendezések minőségi és funkcionális paramétereinek olyan megválasztása, hogy az a műveleti terület klimatikus viszonyaihoz vagy a megváltozott körülményekhez illeszkedjen.

A katonai erőket a nemzetközi gyakorlatnak megfelelően gyakran alkalmazzák civil társadalmi feladatok ellátására, amely többletfeladatot és terhelést jelent az állomány számára. Bevetik a katonákat árvízi védekezés, kitelepítés, a biztonság fenntartása céljából földrengés, szökőár, hurrikán, erdőtűz vagy más természeti katasztrófa esetén. Ilyenkor szélsőségesebb körülmények közt végzik feladataikat, ami a csapatok további terhelését jelenti.

Klímaadaptáció és a kibocsátások csökkentése

A megváltozott körülményekhez való *alkalmazkodás* szükségszerű a haderő esetében is a hatékony feladatvégzés érdekében. Ehhez megfelelő védelmi stratégiával és politikával kell rendelkezni, a problémás területek mélyreható megismeréséhez elemzéseket kell végezni. Ahhoz, hogy tisztában legyünk környezetünk aktuális állapotával, megfigyelőrendszereket szükséges üzemeltetni, méréseket végezni, feldolgozni azok adatait, ezen túlmenően elengedhetetlen a meteorológiai modellek fejlesztése is. A veszélyfigyelmeztető rendszerek kialakítása, alkalmazása jelentősen csökkentheti a környezeti károk kialakulását, hozzásegít a katasztrófahelyzetek megelőzéséhez, hatásaik mérsékléséhez azáltal, hogy időelőnnel szerzünk tudomást a jelenségek várható bekövetkezéséről, fel tudunk rá készülni.

Az alkalmazkodás mellett az *üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése* is esszenciális, hiszen általában a haderő maga is jelentős kibocsátó, és mivel feladatait

²⁴ MEGLÉCZ Katalin (2011): Missziós területek katonai szolgálatának követelményrendszere és kihívásai. *Hadtudomány*, (4), 21–32.

²⁵ MEGLÉCZ 2011.

megváltozott éghajlati körülmények között kell végeznie, ki van téve a már bekövetkezett negatív hatásoknak is. Az ökológiai lábnyom csökkentése, az úgynevezett „zöld haderő” koncepció már viszonylag korán megjelent a NATO-országokban, különösen az Egyesült Államokban,²⁶ Hollandiában, az EU-ban.²⁷ A megújuló energiák alkalmazása, elsősorban a napenergia, több haderő esetében hatékonynak bizonyult, főleg a kis energiaigényű eszközök töltése (rádiók, telefonok, éjjellátók, laptopok) esetében táborokban, műveleti területen. A kevesebb fosszilis üzemanyag felhasználása miatt kevesebb üzemanyag-utánpótlást igényel a művelet, hosszabb ideig marad működőképes, ami biztonságosabb, hiszen az üzemanyag-utánpótlás sok esetben rendkívül kockázatos adott műveleti területen. Belföldön a laktanyák elektromosáram-felhasználása kiegészíthető kis teljesítményű napkollektorok felszerelésével. Hazánkban például 2013-tól közcélú elektromos hálózatra termelő fotovoltaikus rendszerű, háztartási méretű kiserőművek (HMKE) – 48–50 kW – üzemelnek Budapesten, Hódmezővásárhelyen.

Manapság a védelmi beruházások, fejlesztések tervezésekor lehetőség szerint figyelembe vesznek kötelezően nem előírt klímavédelmi szempontokat is. Megjegyzem, hogy az energiahatékonyság költségcsökkentő hatása műveleti szempontból nem releváns, minden esetben a feladat végrehajtás, sikere az elsődleges szempont.

Hazánkban az éghajlatváltozás várható hatásaira való felkészülés és az alkalmazkodóképesség javításának feltételei beépültek a stratégiai tervezés folyamatába (Nemzeti Környezetvédelmi Program,²⁸ Nemzeti Biztonsági Stratégia,²⁹ Élelmiszerlánc-Biztonsági Stratégia,³⁰ Nemzeti Épületenergetikai Stratégia³¹).

A II. Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia³² az alkalmazkodás és a felkészülés témakörében említést tesz az egészségügy ágazatáról is. Stratégiai célként jelenik meg az élelmiszer- és vízbiztonság fenntartása az egészségügyi kockázatok és a járványok kiküszöbölése érdekében. Az éghajlatváltozás várható hazai hatásai közül a hóhullámokra fókuszál. Foglalkozik az aszályal, a hóhullámmal, az erdőtűzzel, a villámárvizekkel, a viharokkal mint az éghajlatváltozásból adódó problémákkal, az extrém csapadékesemények elleni védekezéssel, a vízviisszatartással, a csapadékvíz-gazdálkodási rendszerek fejlesztésével. Említi továbbá a fenntartható mezőgazdasági vízhasználatot, hazai vizeinket (például Balaton), az erdőterületeket és a természetes élőhelyeket, valamint az egészségügyi ellátórendszer klímahatásokra való felkészítését (a lakosság egészségi állapota, infrastruktúra, az ellátórendszer fejlesztése) is.

²⁶ A megújuló energia alkalmazására példák az amerikai hadseregben: Military Green (2017), Megújuló energiafelhasználás (USA) (2015) (letöltve 2022. 08. 30.)

²⁷ L. VAN SCHAİK et al. (2020): *Ready for take-off? Military responses to climate change*. Clingendael Netherland Institute of International Relations Report.

²⁸ Nemzeti Környezetvédelmi Program [é. n.]. *Magyar Állami Környezetvédelem Hivatalos Honlapja*.

²⁹ 1163/2020. (IV. 21.) Korm. határozat Magyarország Nemzeti Biztonsági Stratégiájáról.

³⁰ Élelmiszerlánc-Biztonsági Stratégia [é. n.]. *Nébih*.

³¹ A Nemzeti Épületenergetikai Stratégiát a 1073/2015. (II. 25.) Kormányhatározattal fogadták el. Kidolgozta: ÉMI Építésügyi Minőségellenőrző és Innovációs Nonprofit Kft. a nemzeti Fejlesztési Minisztérium megbízása alapján.

³² Innovációs és Technológiai Minisztérium (2018): *A 2018–2030 közötti időszakra vonatkozó, 2050-ig tartó időszakra is kitekintést nyújtó második Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia*. Melléklet a 23/2018. (X. 31.) OGY határozathoz.

Energiamix és a meteorológiai előrejelzések fejlesztése

A hatások mérsékléséhez elengedhetetlen a gazdaság és a lakosság fosszilis energiahordozó-igényének csökkentése és a megújuló energiaforrások arányának növelése hazánkban is, összhangban az Európai Unió célkitűzéseivel. A British Petrol cég 2021. évi jelentése³³ szerint tavaly hazánkban 7,8% volt a megújuló energiák aránya, amely magasabb a globális átlagnál (6,7%), azonban elmarad az európai átlagtól (13,2%). Az energiaszektor működését a vállalt klímacélokhoz kell igazítani, ami az ágazat teljes átalakítását igényli.

A szomszédunkban zajló háború rádöbbsentette az európai országokat az energia-biztonság törékenységére az orosz gáztól való függőség révén. A Központi Statisztikai Hivatal (KSH) adatai szerint³⁴ 2004 óta az Európai Unióban felhasznált energia több mint 50%-a importból származott. Az uniós tagállamok többségében, 17 országban haladta meg az energiaimport-függőség mértéke az 50%-ot. A legmagasabb függőségi aránnyal jellemezhető állam Málta (97%), Luxemburg (95%) és Ciprus (93%) volt. A legalacsonyabb értékekkel Észtország (4,8%), Svédország és Románia (egyenként 30%) bírt. Figyelemre méltó, hogy Észtország gyakorlatilag önellátó energiából, Magyarország függősége 12 százalékponttal haladta meg az EU28 átlagát, tizenkettedik legmagasabb értékünkkel az uniós középmezőnyben helyezkedünk el. E függőség csökkentése mielőbbi érdekünk, amely a megújulók arányának növelésével mérsékelhető. A napenergia hasznosítása világszerte robbanásszerű növekedést mutat, hazánkban is ilyen irányú törekvések látszanak, amelyekkel a klímasemlegesség akár a vállalt céldátum, 2050 előtt is elérhető lehet. A napelemek beépített teljesítménye 2021-ben meghaladta a 3000 MW-ot. A 2019-ben kiadott Nemzeti Energia és Klímaterv³⁵ (NEKT), szerint 2030-ig ezt megduplázza Magyarország, ugyanakkor idén új, ambiciózus célt tűzött ki a kormány, miszerint 12 000 MW teljesítmény kiépítése valósulhat meg.

A megújuló energia felhasználása egyéb, katonai előnyökkel is járhat, hiszen például napkollektorok alkalmazásával a potenciális célpontnak számító utánszállító konvojok számát egy-egy misszióban csökkenthetjük. Ugyanakkor nyilvánvalóan megfontolást igényel az energiamix változtatása, amelyet a villamosenergia-szabályzó rendszerekkel együttesen lehet csak módosítani. Ellenkező esetben az időjárásfüggő megújulók termelés kiesését nem tudja a rendszerirányítás rugalmasan, kellő időben pótolni, és mivel az így váratlanul kiesett energia piaci vásárlása magas rendszerkiegészítési költségekkel jár, valamint ennek forrása legtöbbször nem zöld energia, ezért a szándék, azaz az üvegházhatású gázok kibocsátásának költséghatékony csökkentése nem valósul meg, sőt, drága és szennyező energiaforrást használunk a pillanatnyi energiaigények kielégítésére. Ezt elkerülendő a regionális időjárás-előrejelző modellek célirányos fejlesztése is elengedhetetlen, amelyek a villamosenergia-irányító rendszerek számára rendszerint negyedóránkénti bontásban adják meg a várható termelést a nap- és a szélenergia esetében.

³³ British Petrol (2021): *Statistical Review of World Energy*. London.

³⁴ Központi Statisztikai Hivatal elemzése: Energiaimport-függőség (2021). *Ksh.hu*, 2021. október 31.

³⁵ Innovációs és Technológiai Minisztérium [é. n.]: *Nemzeti Energia és Klímaterv (NEKT)*.

Egy ország energiarendszerének átalakítása, az energiamix megváltoztatása általában nagy kihívást jelent, rendkívül összetett feladat. A Nemzetközi Megújuló Energia Ügynökség (IRENA) olyan szervezet, kiválósági központ, amelynek célja, hogy segítséget nyújtson az egyes országok számára energiatermelési rendszerük fenntartható átalakításához nemzetközi együttműködési programokkal, hozzáférhetővé téve a megújuló energia irányelveit, illetve a kapcsolódó műszaki, technológiai és pénzügyi ismereteket.

Az IRENA támogatja a megújuló energia széles körű alkalmazását (bio- és geotermikus energia, vízenergia, a hullámok energiája, nap- és szélenergia) a fenntartható fejlődés, energiaellátás, az energiabiztonság és az alacsony üvegházhatásúgáz-kibocsátással járó gazdasági növekedés szem előtt tartásával.

A Német Meteorológiai Szolgálat (DWD) 2012-ben kezdett fejlesztésekbe³⁶ az IRENA támogatásával több projekten keresztül (EWeLiNE, ORKA, ORKA2, Gridcast) az időjárás-előrejelzés, valamint a nap- és szélenergia-termelés előrejelzése pontosságának, továbbá a villamosenergia-hálózat stabilitásának javítása érdekében. A fejlesztéshez felhasználták a németországi napelempanelek és szélturbinák valós idejű termelési és egyéb mérési (szélsebesség és szélirány, hőmérséklet, digitális égképek) adatait a modellek számítási algoritmusainak bemeneteként, majd a gépi tanulás módszerét alkalmazták a megújuló energia előrejelzésének kiszámításához. Az előre jelzett és a ténylegesen mért termelési adatok összehasonlítását (a verifikációs teszteket) követően a kutatók megállapították, hogy a vizsgált, továbbfejlesztett modell által előre jelzett mezők kisebb hibával terheltek nagyobb térbeli és időbeli felbontás mellett a hagyományos modellek által számított paraméterekhez viszonyítva. Az újabb modell további előnye, hogy megbízhatóbban jelezte előre a veszélyes időjárási jelenségeket, például az extrém szélsebességet, amely a villamos hálózat működtetése szempontjából különösen hasznos információ. A fejlesztések eredményeképpen a már pontosabb sugárzási adatokat 15 percenként számították ki, amelyek felhasználásával a rendszeroperátorok nagyobb időelőnnyel meg tudják becsülni a hálózati stabilitás fenntartásához esetlegesen szükséges többletenergiát, azaz olcsóbban juthatnak hozzá az erősen időjárásfüggő források kiesése esetén a villamos energiához, ily módon értelemszerűen költséghatékonyabb rendszert tudtak kialakítani.

Hazánkban az Országos Meteorológiai Szolgálatnál folynak ilyen irányú meteorológiai modellfejlesztések, válaszul a villamosenergia-ipar igényeire.³⁷ A hazai hálózati irányítási rendszerek átalakítása azonban elengedhetetlen a robbanásszerű fejlődést mutató napenergia-hasznosítás mellett, hogy a megtermelt tiszta energia hatékony felhasználása megvalósítható legyen.

³⁶ International Renewable Energy Agency (2020): *Innovation landscape brief: Advanced forecasting of variable renewable power generation*.

³⁷ 41. Meteorológiai Tudományos Napok – 2015. A megújuló energiaforrások felhasználásának meteorológiai vonatkozásai. Budapest. 2015. november 19–20.; Tóth Helga et al. (2015): Szél- és napenergia előrejelzés az Országos Meteorológiai Szolgálatnál. In 41. Meteorológiai Tudományos Napok – 2015. A megújuló energiaforrások felhasználásának meteorológiai vonatkozásai. Budapest. 2015. november 19–20.

Összefoglalás

Az éghajlatváltozással együtt járó szélsőséges időjárási jelenségek által okozott károk mérsékléséhez elengedhetetlen tudásunk sokszempontú fejlesztése mellett az alkalmazkodás is, amelyhez szükséges a veszélyfigyelmeztető és az időjárást megfigyelő és mérő rendszerek fejlesztése, illetve a veszélyes jelenségek megfigyelésével, elemzésével, különböző időtávú előrejelzésével foglalkozó szakemberek, szolgálatok együttműködése.

Az éghajlati kutatási eredmények egy része felhasználható a hazai és nemzetközi gyakorlatok előkészítéséhez, illetve a katonai műveleti tervezéshez szükséges éghajlati összefoglalók alapját is képezi. A meteorológiai és éghajlati információ szélesebb körű alkalmazása érdekében nagy jelentőséggel bír az ilyen tárgyú ismeretek bővítése a katonai felhasználók körében is, amely hozzájárulhat a műveleti tervezés hatékonyabb szakmai (éghajlati, meteorológiai) támogatásához. Sok esetben tapasztaljuk munkánk során, hogy a felhasználó és a meteorológiai/éghajlati információ szolgáltatója közt kommunikációs problémák vannak, amelyek áthidalhatók, ha a szakemberek kölcsönösen megismerik és megértik egymás információigényét és lehetőségeit, azaz megismerik és megértik, mire is van szükség a szolgáltató és a felhasználó szempontjából.

A különböző szintű, hatékonyabb meteorológiai és éghajlati támogatással közvetlenül vagy közvetetten hazánk biztonságának növeléséhez is hozzájárulunk.

Felhasznált irodalom

- 1163/2020. (IV. 21.) Korm. határozat Magyarország Nemzeti Biztonsági Stratégiájáról.
- 2021 one of the seven warmest years record, WMO consolidated data shows. *WMO*, 2022. január 19. Online: <https://public.wmo.int/en/media/press-release/2021-one-of-seven-warmest-years-record-wmo-consolidated-data-shows>
41. Meteorológiai Tudományos Napok – 2015. A megújuló energiaforrások felhasználásának meteorológiai vonatkozásai. Budapest. 2015. november 19–20. Online: https://met.hu/omsz/rendezvenyek/index.php?id=1487&hir=41._Meteorologiai_Tudomanyos_Napok_%E2%80%93_2015
- BALLINGER, T. J. et al. (2020): *Surface Air Temperature*. NOAA Arctic Report Card 2020. Online: <https://doi.org/10.25923/gcw8-2z06>
- BENISTON, M. et al. (2007): Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Climate Change*, (81), 71–95.
- British Petrol (2021): *Statistical Review of World Energy*. London. Online: <https://bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>
- CARPATCLIM–A Kárpát-régió éghajlata [é. n.]. *Met.hu*. Online: <https://met.hu/omsz/palyazatok/carpatclim/bevezeto/>
- EASAC (2013): *Trends in extreme weather events in Europe: implications for national and European Union adaption strategies*. EASAC Policy Report 22. ISBN 978-3-8047-3239-1
- Energiaimport-függőség (2021). *Ksh.hu*, 2021. október 31. Online: <https://ksh.hu/sdg/3-35-sdg-7.html>
- Expert Group of the International Military Council on Climate and Security (2021): *The World Climate and Security Report 2021*. Center for Climate and Security, an Institute of The

- Council on Strategic Risks. Online: <https://imccs.org/wp-content/uploads/2021/06/World-Climate-and-Security-Report-2021.pdf>
- Élelmiszerlánc-Biztonsági Stratégia [é. n.]. *Nébih*. Online: <https://portal.nebih.gov.hu/-/elelmiszerlanc-biztonsagi-strategia>
- FORZIERI, G. et al. (2016): Multi-hazard assessment in Europe under climate change. *Climate Change*, (137), 105–119. Online: <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-016-1661-x>.
- HELMAN, D. – ZAITCHIK, B. F. – FUNK, C. (2020): Climate has contrasting direct and indirect effects on armed conflicts. *Environmental Research Letters*, 15(104017), 12. Online: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aba97d>
- Innovációs és Technológiai Minisztérium (2018): A 2018–2030 közötti időszakra vonatkozó, 2050-ig tartó időszakra is kitekintést nyújtó második Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia. Melléklet a 23/2018. (X. 31.) OGY határozathoz. Online: https://nakfo.mbfisz.gov.hu/sites/default/files/files/N%C3%89S_Ogy%20%C3%A1ltal%20elfogadott.PDF
- Innovációs és Technológiai Minisztérium [é. n.]: *Nemzeti Energia és Klímaterv (NEKT)*. Online: https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-01/hu_final_necp_main_hu_0.pdf
- International Renewable Energy Agency (2020): *Innovation landscape brief: Advanced forecasting of variable renewable power generation*. Abu Dhabi. ISBN 978-92-9260-179-9
- KENDON, M. (2022): *Unprecedented extreme heatwave, July 2022*. Met Office National Climate Information Centre. Online: https://metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/metofficegovuk/pdf/weather/learn-about/uk-past-events/interesting/2022/2022_03_july_heatwave.pdf
- LAVELL, A. et al. (2012): Climate change: new dimensions in disaster risk, exposure, vulnerability, and resilience. In FIELD, C. B. et al. (szerk.): *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge – New York: Cambridge University Press. 25–64.
- LECKEBUSCH, G. et al. (2008): Extreme wind storms over Europe in present and future climate: a cluster analysis approach. *Meteorologische Zeitschrift*, 17(1), 67–82. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2008/0266>
- MEGLÉCZ Katalin (2011): Missziós területek katonai szolgálatának követelményrendszere és kihívásai. *Hadtudomány*, (4), 21–32.
- MCVICAR, T. et al. (2012): Global review and synthesis of trends in observed terrestrial near-surface wind speed: Implications for evaporation. *Journal of Hydrology*, 416–417, 182–205. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.10.024>
- NATO (2022a): *NATO Strategic Concept*. NATO HQ. Online: <https://nato.int/strategic-concept/>
- NATO (2022b): *NATO The Secretary General's Report: Climate Change & Security Impact Assessment*. NATO HQ. Online: https://nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2022/6/pdf/280622-climate-impact-assessment.pdf
- Nemzeti Környezetvédelmi Program [é. n.]. *Magyar Állami Környezetvédelem Hivatalos Honlapja*. Online: <https://kornyeztvedelem.hu/nemzeti-kornyeztvedelmi-program>
- OMSZ (2020): Hosszan tartó szélvihar egy markáns hidegfront nyomában. *Met.hu*, 2020. február 10. Online: https://met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=2759
- OUTTEN, S. – SOBOLOWSKI, S. (2021): Extreme wind projections over Europe from the Euro-CORDEX regional climate models. *Weather and Climate Extremes*, 33(100363), 11. Online: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2021.100363>
- PADÁNYI József (2022): *Kihívások, kockázatok, válaszok. Az éghajlatváltozás okozta kihívások és azok hatása a katonai erőre*. Budapest: Ludovika.

- PÉLINÉ N. Cs. et al. (2016): Analysis of climate change influences on the wind characteristics in Hungary. *IDŐJÁRÁS. Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 120(1), 53–71.
- SPINONI, J. et al. (2014): Climate of the Carpathian Region in the period 1961–2010: climatologies and trends of 10 variables. *International Journal of Climatology*, (35), 1322–1341. Online: <https://doi.org/10.1002/joc.4059>
- Summary for policymakers (2021). In MASSON-DELMOTTE, V. et al. (szerk.): *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge – New York: Cambridge University Press.
- TÓTH Helga et al. (2015): Szél- és napenergia előrejelzés az Országos Meteorológiai Szolgálatnál. In 41. *Meteorológiai Tudományos Napok – 2015. A megújuló energiaforrások felhasználásának meteorológiai vonatkozásai*. Budapest. 2015. november 19–20. Online: https://met.hu/doc/rendezvenyek/metnapok-2015/17_TothH.pdf
- TRESZKAI Á. (2019): Az éghajlatváltozás biztonsági hatásai a szubszaharai térségben. *Honvédségi Szemle*, (4), 65–76.
- VAN SCHAİK, L. et al. (2020): *Ready for take-off? Military responses to climate change*. Clingendael Netherland Institute of International Relations Report. Online: https://planetarysecurityinitiative.org/sites/default/files/2020-03/PSI_Ready_for_takeoff.pdf
- WMO (2021): *State of the Global Climate 2020*. WMO-No. 1264. ISBN 978-92-63-11264-4. Online: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10618
- Zivatarlanc, szupercella kísért a hidegfrontot (2021). *Nemzeti Agrárgazdasági Kamara*, 2021. április 23. Online: <https://nak.hu/kamara/kamarai-hirek/orszagoss-hirek/103315-zivatarlanc-szupercella-kiserte-a-hidegfrontot>

Vákát

Légvédelmirakéta-fegyverek az orosz–ukrán konfliktusban (előzetes elemzés)

A tanulmány összefoglalja az orosz–ukrán konfliktusban alkalmazott légvédelmirakéta-fegyverrendszerek képességeit, helyüket és szerepüket a háború légi szegmensében.

Feltárja a két fél légi hadviselési stratégiájának lényegét, céljait és az ehhez rendelhető légi műveleteket, valamint a támadó és védelmi légi szembenállás eddig alkalmazott gyakorlatát, helyét és szerepét a szembenálló felek stratégiájában. Összegezi, hogy miként voltak alkalmazhatóak a korábbi szovjet időkben kifejlesztett légvédelmi fegyverrendszerek a műveletek során. Milyen trendek, újdonságok figyelhetők meg a légi, légvédelmi műveletek elemzése után, valamint milyen tanulságok vonhatók le Magyarország, a Magyar Honvédség légvédelmi rakétás szakemberei részére?

Kulcsszavak: légvédelmirakéta-fegyverek, légvédelmirakéta-harcászat, légierő, légi szembenállás, védelmi légi szembenállás

Air Defence Weapon Systems in the Russia–Ukraine Conflict (Short Analysis)

The study summarizes the capabilities of anti-aircraft missile weapons systems used in the Russian–Ukrainian conflict, their task and role in the air segment of the war. It reveals the essence of the aerial warfare strategy of the two sides, their objectives and the air operations that can be attributed to it, and also the practice, place and role of offensive and defensive air-to-air combat in the strategy of the opposing parties so far. The paper summarizes how the anti-aircraft weapon systems developed in earlier Soviet times were applicable during operations. What trends and novelties can be observed after analyzing air and air defence operations? What lessons can be learned for Hungary, for the air defence missile specialists of the Hungarian Defence Forces?

Keywords: anti-aircraft missile weapons, anti-aircraft missile tactics, air force, counter air, defensive counter air

Bevezetés

Az orosz–ukrán háború, az Oroszországi Föderáció agressziója Ukrajna ellen hatalmas jelentőséggel bír, amit az életünk minden területén már most is érzékelhetünk, de nem nagy bátorság kijelentenünk, hogy a közel- és távolabbi jövőnket is nagyban

meg fogja határozni. Ez különösen igaz a hadtudományra, a hadművészet elméletére és gyakorlatára, hiszen ezen háború hatására már most láthatóan sok változást tapasztalunk, akár paradigmaváltásokat is indukálhat a hadműveletek tervezése és szervezése során.

A tanulmány írása idején már a háború 140. napja is elmúlt, így talán már van elegendő információ a háború légi hadviselési szegmenséről, azonban a hiteles információkhoz jutás esélye nem túl magas, az információs hadviselés igen jelentősnek mondható, amely gyakorlatilag minden médiafelületet érint. Ezzel a felüttéssel szeretnénk volna jelezni, hogy a megerősített információk hiányában megállapításainkban még számottevő a hibák lehetősége, azonban talán már láthatóak a trendek és levonhatók a legfontosabb tanulságok.

A témaválasztásnál az volt a legmeghatározóbb, hogy a háború légi hadviselési szegmenséről még csak-csak, de a légvédelmirakéta-harcászati eseményekről, a légvédelmirakéta-csapatok alkalmazásának tapasztalatairól vajmi kevés hír és emellett elenyésző tanulmány, értékelés található a nemzetközi szakirodalomban.

Ennek megfelelően kutatásaink célja volt:

- Feltárni a két fél légi hadviselési stratégiájának lényegét, céljait és az ehhez rendelhető légi műveleteket.
- A támadó és védelmi légi szembenállás eddig alkalmazott gyakorlatát, helyét és szerepét a szembenálló felek stratégiájában.
- Hogyan voltak alkalmazhatóak, a korábbi szovjet időkben kifejlesztett légvédelmi fegyverrendszerek a műveletek során?
- Milyen trendek, újdonságok figyelhetők meg a légi, légvédelmi műveletek elemzése után?
- Milyen tanulságok vonhatók le Magyarország, a Magyar Honvédség légvédelmi rakétás szakemberei részére?

Kutatásunk a metodikai kérdéseket érintve alapvetően internetes hírforrások, releváns *think-thank* tanulmányainak, értékeléseinek elemzésén, majd a saját tapasztalatok integrálásán alapult. Itt fontos megjegyeznünk, hogy az elemzések, hírek is sokszor csak implicit módon tartalmaznak használható információt a légvédelmirakéta-harcászati alkalmazást illetően.

Tanulmányunk tartalmilag a következők szerint épül fel:

- rövid bevezető, problémafelvető és kutatási célokat és módszereket tartalmazó rész után következnek a tanulmány főbb elemei, mint
 - az orosz–ukrán háború rövid előzményei, a felek potenciális stratégiai céljai,
 - Ukrajna légvédelmirakéta-képességeinek áttekintése, elemzése (a háború előtti helyzet),
 - a fegyveres konfliktus hadászati, hadműveleti alkalmazási formái: az orosz fegyveres erők agressziójának légi műveleti elemzése, a műveletek légi komponensének, kiemelten a légvédelmirakéta-csapatok alkalmazásának tapasztalatai;

- a tanulmányunk befejezése tartalmazza a kutatás eredményeinek összegzését, az eredmények-tapasztalatok alkalmazására, valamint a további kutatásokra tett javaslatokat.

Az orosz–ukrán háború előzményei, a felek potenciális stratégiai céljai

Mérvadó elemzők¹ szerint a mostani háború nem most kezdődött, hanem ez a 2014-es krími annektálásnak és az utána állandósult donyecki és luhanszki régióban folytatott fegyveres küzdelemnek a szerves folytatása, annak kiterjesztése a többi ukrán területre. Elemzésünkben a terjedelmi korlátokból adódóan nem foglalkoztunk a történelmi és biztonságpolitikai háttérrel, a két ország rendszerváltozás utáni ellentmondásos kapcsolattal, az azóta eltelt időszak sokszor viharos politikai változásaival.

Az Oroszországi Föderáció által indított fegyveres agresszió stratégiai céljai nagy valószínűséggel több alkalommal, menet közben is változtak: a kezdeti „villámháborús” tervek az ukrán adminisztráció működőképességének megmaradása, az ukránok ellenálló képességének nem várt ereje miatt a későbbiekben korlátozódtak.

Így talán nem túlzás kijelenteni, hogy a tanulmány írásának idején² az orosz fegyveres erők a határaik mentén húzódó szakadár-köztársaságok teljes körű uralására, illetve az elfoglalt délkeleti, déli területek megtartására fókuszálnak.

Légi hadviselési stratégiájuk is ennek alárendelten változott. Kezdetben az ukrainai orosz légi műveleteket az jellemezte, hogy nagy hangsúlyt fektettek az ukrán katonai és polgári célpontok elleni nagy hatótávolságú csapásokra, hogy aláássák az ukrán fegyveres erők stratégiai képességeit, gyengítsék az ukrán lakosság morálját, és végezetül megbüntessék az országot a Nyugat felé való elmozdulása miatt.

A kezdeti mélységi manővereket (Kijev körülzárásának kísérlete, a különleges erők műveletei Ukrajna stratégiai mélységében) jellemzően nem jelentős légi műveleti támogatással tervezték végrehajtani, így a nyugati megfigyelők a háború első napjaiban meglepetéssel konstatálták, hogy az orosz fél nem akar vagy nem tud légi fölényt kivívni a szárazföldi haderőnem által uralt hadszíntér felett. Erre jó példa Justin Bronk-nak, a RUSI (the Royal United Services Institute) elemzőjének a háború ötödik napján megjelent írása,³ amelyet szinte minden meghatározó szakmai, politikai médium átvett, mert gyakorlatilag elsőként vette észre, hogy az orosz légierő alkalmazása az elemzői várakozások alatt maradt. Két héttel később már megállapította,⁴ hogy az orosz légierő valószínűsíthetően nem képes komplex légi támadó műveleteket végrehajtani, azokhoz

¹ A szerzők számára mérvadó Rácz András és Jójárt Krisztián is több nyilatkozatában kihangsúlyozta, hogy nem lehet a korábbi történésektől elvonatkoztatva vizsgálni a február 24-én indult agressziót, a Krim-félsziget 2014-es annektálása szerves folytatásaként célszerű tekinteni a most folyó háborúra.

² A háború 140–180. napja közötti időszakban.

³ Justin BRONK (2022b): The Mysterious Case of the Missing Russian Air Force. *Royal United Service Institute*, 2022. február 28.

⁴ Justin BRONK (2022a): Is the Russian Air Force Actually Incapable of Complex Air Operations? *Royal United Service Institute*, 2022. március 4.

hasonlókat, amelyeket az Egyesült Államok és szövetségesei a közelmúlt konfliktusaiban alkalmaztak.

Vizsgálódásunk csak a közvetlenül a 2022. február 24-i orosz invázió előtti nagyjából fél évre nyúlik vissza, amikor az Oroszországi Fegyveres Erők jelentősen növelték a jelenlegi hadszíntéren állomásoztatott csapataik számát, és fenyegető átcsoportosításokat és gyakorlatokat, esetenként földi, légi és tengeri provokációkat hajtottak végre.

1. táblázat: A felek légi hadviselési releváns katonai képességei az agresszió előtt

Ország	Katonai repülőgépek száma	Harci repülőgépek száma	Csapás-mérésre (támadásra) dedikált	Katonai helikopterek száma	Harci helikopterek száma	Szállító repülőgépek száma
Oroszországi Föderáció	4173	772	739	1543	544	445
Ukrajna	318	69	29	112	34	32

Forrás: a szerző szerkesztése a *Global Firepower*, 2022. július 21. alapján

Ha megnézzük a jelentősebb haderőt és tüzert, tulajdonképpen a támadási képességeket összegző oldalak orosz és ukrán összevetéseit, akkor az Oroszországi Föderáció rendkívül jelentős fölényben volt és van Ukrajnával szemben (1. táblázat).

A *globalfirepower.com* adatai szerint⁵ Oroszország a második, míg Ukrajna a huszonkettedik a rangsorolt 142 ország között, ami nem is tűnik elsőre olyan rendkívüli fölénynek, de ha a következő számokat egymás mellé tesszük, akkor már jól érzékelhető a mennyiségi (és később kifejtett minőségi) fölény:

- Az Oroszországi Föderáció katonai költségvetése közel tizenháromszorosa Ukrajnáénak.
- Az aktív, szolgálatban (állományban) levő katonák száma 850 000 fő, az ukrán 200 000-hez képest (a háborút megelőző időszakban a tartalékosok száma nagyjából egyforma volt, 250 000 fő).
- Katonai repülőgépek száma: 4173 db vs. 318 db
- Harci repülőgépek száma: 772 db vs. 69 db
- Katonai helikopterek száma: 1543 vs. 112 db
- Harci (támadó) helikopterek száma: 544 vs. 34 db

A táblázat jól mutatja, hogy az orosz és az ukrán légierő között nagyságrendbeli különbségek vannak.

⁵ Comparison of Russia and Ukraine Military Strengths (2023) [é. n.]. *Global Firepower*.

A konfliktus releváns légvédelmirakéta-fegyverrendszerei

Az agresszió 2022. február 24-i kezdete előtt és az azóta kapott és beígért fegyverzeti támogatásokkal egyesített meghatározó légvédelmirakéta- és tüzerfegyvereket a 2., 3. és 4. táblázatba foglaltuk.

2. táblázat: Az ukrán fegyveres erők által alkalmazott légvédelmirakéta-fegyverrendszerek (-komplexumok)

Típus	Hatótávolság	Verzió	Mennyiség	Megjegyzés
2K12 Kub	Közepes hatótávolságú	M3/2D	89	A 2010-es évek végén nagyjavítást hajtottak végre, és visszaállították a szolgálatba. M3/2D változatokat használnak.
2K22 Tunguska	Közei hatótávolságú	2K22M	75	
9K33 Osa	Kis hatótávolságú	Osa-AKM	125	2022. június 18-ig legalább kettőt fogtak el az orosz erőktől az orosz invázió során.
9K35 Strela-10	Közei hatótávolságú	9K35M Strela-10M4	>75	2022. április 11-től a Cseh Köztársaság nem nyilvános számú rendszert szállított Ukrajna 2022-es orosz megszállására válaszul. 2022. június 26-ig négy egységet zsákmányoltak az orosz erőktől.
9K37 Buk	Közepes hatótávolságú	9K37M1	72	Korszerűsítés 9K37M1-2 szabványra. 2021-ben 6 rendszer volt használatban, és több mint 100-ról azt állították, hogy raktáron van.
9K330 Tor	Kis hatótávolságú		6	2021-ben 6 rendszer volt használatban, és több mint 100-ról azt állították, hogy raktáron van.
IRIS-T	Közepes hatótávolságú	IRIS-T SLM		2022. június 1-jén Németország ígéretet tett arra, hogy a 2022-es orosz invázióra válaszul ellátja a rendszereket Ukrajnába.
NASAMS	Közepes hatótávolságú	Ismeretlen	2	2022. július 1-jén az Egyesült Államok Védelmi Minisztériuma bejelentette, hogy az USA két NASAMS légvédelmi rendszert szállít Ukrajnába.
Pantsir	Kis hatótávolságú	Pantsir-S1	3+	2022. június 18-ig hármat fogtak el az orosz erőktől a 2022-es orosz invázió során Ukrajnában.
S-125 Pechora	Kis hatótávolságú	125D	8	S-125 D Ukrajna által modernizált változat.
S-300	Nagy hatótávolságú	S-300V1 S-300P/PS/ PT S-300PMU	250	Egy S-300PMU üteget Szlovákia adományozott 2022-ben.
Stormer HVM	Közei hatótávolságú		6	Legalább hat járművet és több száz rakétát szállított az Egyesült Királyság.

Forrás: a szerző szerkesztése a The Order of Battle of the Ukrainian Armed Forces: A Key Component in European Security alapján

3. táblázat: Az ukrán fegyveres erők által alkalmazott önjáró légvédelmi fegyverek

Típus	Hatótávolság	Verzió	Mennyiség	Megjegyzés
ZSU-23-4 Shilka	önjáró, páncélozott, lánctalpas légvédelmi löveg	ZSU-23-4M3	300	Korszerűsítés után újra szolgálatba állították, továbbá 2022. június 26-ig négyet fogtak el az ukrán erők a 2022-es orosz invázió során.
Flakpanzer Gepard	önjáró, páncélozott, lánctalpas légvédelmi löveg			

Forrás: a szerző szerkesztése a The Order of Battle of the Ukrainian Armed Forces: A Key Component in European Security alapján

4. táblázat: Az ukrán fegyveres erők által alkalmazott vontatott légvédelmi tűzértség

Típus	Verzió	Mennyiség	Megjegyzés
AZP S-60		400	Minden a raktárban. Az egyiket a harkovi területi védelmi erők kiképzése során látták használni.
ZU-23-2	2A13	1000+	2022. június 18-ig ötöt fogtak el az orosz erőktől a 2022-es orosz invázió során Ukrajna ellen.

Forrás: a szerző szerkesztése a The Order of Battle of the Ukrainian Armed Forces: A Key Component in European Security alapján

5. táblázat: Az ukrán fegyveres erők által alkalmazott, ember által hordozható (vállról indítható) légvédelmi rendszerek

Típus	Működési elv	Kaliber	Megjegyzés
Mistral	Infravörös önrávezetésű	90 mm	Ismeretlen számú rakétát és hordozórakétát adományozott Franciaország a 2022-es orosz invázió előtt Ukrajnának. Norvégia 100 rakétát adományozott.
PPZR Piorun	Infravörös önrávezető	72 mm	A lengyel szárazföldi erők állományából szállították az orosz invázió előtt.
Strela-2	Infravörös önrávezetésű	72 mm	2700 keletnémet Strela-2 MANPAD légvédelmi rendszert szállított Németország katonai segítségként, de ezek közül körülbelül 700 már nem volt teljes mértékben hadban használható.
Strela-3	Infravörös önrávezetésű	72 mm	
9K38 Igla	Infravörös önrávezetésű	72 mm	
9K310 Igla-1	Infravörös önrávezetésű	72 mm	
Martlet	Lézeres	76 mm	Az Egyesült Királyság katonai segélye a 2022-es ukrán orosz invázióra válaszul.
Starstreak	Lézeres	130 mm	2022 márciusában a tervezett szállításokat az Egyesült Királyság katonai segélyének részeként jelentették be. Alvis Stormer járműveket is küldenek, amelyek nagyobb, többszörös Starstreak indítócsővel vannak felszerelve.
FIM-92 Stinger	Infravörös önrávezetésű	70 mm	Meg nem határozott mennyiségű „Dual Mount Stinger” verzió, Lettország és Litvánia által szállított rakétákkal a 2021–2022-es orosz–ukrán válság közepette. 500 rendszert Németország, 300-at pedig Dánia szállított. 2022 júniusában Görögország 60 egységet adományozott Ukrajnának.

Forrás: a szerző szerkesztése a The Order of Battle of the Ukrainian Armed Forces: A Key Component in European Security alapján

S-300 (S-300 P,⁶ PT,⁷ PS,⁸ PM,⁹ PMU¹⁰ és V¹¹ légvédelmirakéta-fegyvercsalád)

Az orosz–ukrán konfliktus légi hadviselési szegmensének meghatározó fegyverrendszerei az S-300 légvédelmirakéta-komplexum különböző variánsai. Ez a fegyverrendszer mindkét fél arzenáljában megtalálható, és különösen az ukrán fél hadrendjében lévő eszközök harci lehetőségeinek és alkalmazásuknak, a bevetéseikről szóló híreknek az elemzésével jó képet kaphatunk a valós légvédelmi hadművelleti helyzetről.

Az elemzések megalapozásához elengedhetetlen, hogy röviden áttekintsük a rendszer fejlesztésének főbb állomásait, a fegyvercsalád variánsainak jellemzőit és eddigi hadművelleti alkalmazásuk tapasztalatait.

Az S-300 légvédelmirakéta-család fejlesztésének kezdetei az 1960-as évek közepére, végére tehető, amikor is igényként fogalmazták meg, hogy az addigi S-75 (SA-2 Guideline), S-125 (SA-3) honi légvédelmirakéta-komplexumok leváltására komplexebb légi fenyegetéssel is elbíró fegyverrendszert állítsanak hadművelleti szolgálatba, olyan számvetéssel, hogy a rendszer képes legyen a szárazföldi és a haditengerészeti haderőnem részben eltérő légvédelmi hadművelleti követelményeinek is megfelelni. Ehhez minden potenciális magasságtartományú megsemmisítési lehetőséggel, nagy fokú mobilitással és ballisztikus és cirkálórakéták elleni képességekkel kellett felruházni a fegyverrendszer variánsait.

Fontosnak tartjuk hangsúlyozni, hogy a nagy hatótávolságú S-200-as¹² rendszer leváltása kezdetben nem volt célja a fejlesztésnek, azonban a fejlesztés későbbi fázisában az S-300-at nagy és közepes hatótávolságú rendszerként definiálták, és a régebbi verziójú SA-5-k helyére jó párszor SA-10 variánsok kerültek.

A fő tervezőiroda az MKB Strela (későbbi, ismertebb nevén NPO Almaz-Antey) lett, míg a rendszer főbb elemeinek fejlesztésében több specializált innovációs intézet is részt vett, a generálkivitelező, sorozatgyártó pedig a jekatyerinburgi székhelyű (Machine-Building Plant, ZiK vagy MZiK), Kalinyinról elnevezett gépgyár lett.

A fejlesztés vezetője a kezdeteknél Alekszandr Andreevics Raszpletin volt, az NPO Almaz-Antey vezetője, majd halála után Borisz Vaszilevics Bunkin fogta össze a szerteágazó projektet.

Már a fejlesztés kezdetén világossá vált, hogy az eltérő hadművelleti igények miatt a három haderőnem, különösen a differenciált honi és csapatlégvédelmi specifikációk miatt eltérő fegyverrendszereket is igényel, így a P a honi légvédelmi, a V a csapatlégvédelmi (szárazföldi csapatok haderőneme), míg az F a haditengerészeti változatot jelenti. A haditengerészeti és a honi légvédelmi (F- és P-sorozat) változat az elhárítandó légi fenyegetés szempontjából hasonló harci lehetőségeket követelt (nagy magasságtartományt

⁶ SA-10 Grumble.

⁷ SA-10A Grumble.

⁸ SA-10D Grumble.

⁹ SA-10E Grumble.

¹⁰ SA-10F Grumble.

¹¹ SA-12 Gladiator/Giant.

¹² S-200 Angara/Vega/Dubna (SA-5 Gammon).

lefedni, kis- és földközeli magasságon támadó robotrepülőgépek és nagy manőverező képességű célok megsemmisítése és hatékony működés elektronikai zavarviszonyok között is).

Ezzel ellentétben a csapatlégvédelmi (szárazföldi haderőnem) változatnál a mobilitás és a hadszíntéri föld-föld típusú rakéták elleni megsemmisítő képesség volt inkább hangsúlyos szempont, természetesen a potenciális hagyományos légi fenyegetésekkel szembeni hatékony légvédelmi harc mellett.

A fejlesztésnél újdonság volt (a 60-as években különösen), hogy integrált áramkörökkel tervezték az elektronikát, és fázisvezérelt antennával oldották meg a rakéták rávezetését.

2K12 Kub. NATO-kód: SA-6 Gainful¹³

Az ukrán légvédelem a Magyar Honvédségben is rendszeresített nagy mobilitású, közepes hatótávolságú légvédelmi rakéta M3/2D modernizált verzióját alkalmazza nagy számban.

Magát az alarendszert 1958-ban kezdték el fejleszteni 100–7000 méteres magassági tartományban, maximum 1200 km/h sebességgel repülő célok ellen, közelítőleg 20 km-es hatótávolsággal. Fő feladata a szárazföldi csapatok légvédelmi oltalmazása volt. Fontos követelményként fogalmazódott meg, hogy képes legyen a gépesített csapatokkal együtt mozogni. Az indítóberendezések, valamint a célok felderítését és a rakéták rávezetését végző radar ezért került lánctalpas alvázra.

A tűzalegységeket, ütegeket úgy szervezték meg, hogy egy szervezeti egységhez négy 2P25M típusjelű MG-578 alvázra telepített indítóállvány és egy 1S91 „SZURN” felderítő és rávezető radar tartozik, amely GM-568 alvázra van szerelve, indítóállványonként három rakétával.¹⁴ Az üteg állományába tartozik továbbá 4 TZM töltő-szállító teherautó.

A rakéták rávezetése félaktív üzemmódban történik. Meghajtásuk kombinált, kétfokozatú. Az indító fokozat szilárd hajtóanyagú, amelynek kiégése után a második fokozat a gázturbinás hajtómű, amelynek levegőbeömlői a rakétatest oldalán találhatóak, a fűvókát a kiégett indítófokozat adja. Ez az alapja a gyártmányok jellegzetes formájának (ami nagyban megkönnyíti a felhasználás során visszahullott roncsok azonosítását).

A KUB rendszerek már korábban is több fegyveres konfliktus aktív részesei voltak. A bemutatkozás a jom kippuri háborúban 1973-ban olyan jól sikerült, hogy a IAF¹⁵ veszteségeinek legnagyobb részét ezek az ütegek adták. Az alapvető harc eljárás akkor is az volt, amit most látunk, rövid idejű alkalmazás, gyors helyváltoztatás.

Természetesen azóta többszörösen modernizálták a rendszereket. Az ukrán légvédelem által jelenleg használt M3/2D verzió már 25 km-es hatótávolsággal bír és 20–8000 m-es magasságtartományban képes a célok megsemmisítésére. A legutóbbi, 2010-es nagyjavítás/modernizáció során javították a berendezések zavarvédelmét is.

¹³ 2K12 Kub [é. n.]. *Wikipedia*.

¹⁴ SA-6 Gainful 2K12 Kub Ground-to-air missile system (2017). *Army Recognition*.

¹⁵ Israeli Air Force (Izraeli Légierő), újabban: Israeli Air and Space Arm.

9K37 BUK-M1. NATO-kód: Gadfly SA-11

A BUK-M1 közepes hatótávolságú légvédelmirakéta-fegyverrendszer, amelyet az 1970-es években a Szovjetunióban hoztak létre a meglévő 2K12 Kub továbbfejlesztésével. A rakéta a repülőgépek és a helikopterek mellett képes kis méretű irányított bombák, rakéták, robotrepülőgépek és pilóta nélküli repülőgépek megsemmisítésére is. Kijelenthetjük, hogy a konfliktus egyik legjelentősebb fegyverrendszere, mennyisége és képességei alapján egyaránt. A BUK 1980-ban állt hadrendbe, elsődleges célja a szárazföldi erők légvédelme volt, amelyet nagy fokú mobilitása tett lehetővé (bontási/telepítési ideje: 5 perc). Hatótávolsága rakéta függvényében mintegy 25 km, a megsemmisítési zóna felső határa mintegy 20 km.

A BUK félaktív radaros önirányítású rakétákkal működik, azonban a BUK-M4 már fejlettebb aktív radaros önirányítású.

2K22 Tunguska. NATO-kód: SA-19 Grison¹⁶

Közeleli hatótávolságú önjáró páncélozott légvédelmi komplexum lánctalpas alvázon. Feladata a szárazföldi csapatok közeleli légvédelmének ellátása alacsonyan szálló repülőgépek, helikopterek és cirkálórakéták ellen. 1980-ban állt hadrendbe a Szovjetunióban, azóta több lépcsőben fejlesztették tovább. Ukrajna az 1990-től gyártott 2K22M verzióból rendelkezett a háború megkezdésének idején 75 db-bal.

Fegyverzete két 2A38 típusú 30 mm-es gépágyú és 2×4 -es indítóberendezés a 9M311 rakétához. A gépágyú alkalmas 84–250 lövéses tűzcsapások leadására 400 m-es magasságig, akár menetből történő tüzmegnyitással is. A rakéták indítása természetesen csak álló helyzetből történhet. Ennek maximális hatótávolsága 8 km, 3,5 km-es magasságtartományban.

A komplexum 1RL144M kombinált radar rendszerrel van felszerelve. Tartalmazza a felderítőkomponenst, amely a torony hátsó részén van elhelyezve. Ez egy 360° -ban körbeforgó antenna, amely lehetővé teszi a célok felderítését 18 km-es távolságból. Továbbá tartalmazza a tűzvezető radart, amely a torony elején található antenna segítségével végzi a befogott cél követését és a rakéta rávezetését rádióparancs-csatorna segítségével. Ha a célzás, illetve a célkövetés optikai eszközzel történik, akkor is ezen a csatornán keresztül kell továbbítani a rakéta számára szükséges pályakorrekciós parancsokat. A teljes rádiócsendben történő üzem nem lehetséges.

Eredendően a komplexumokat 6 járműből álló ütegekbe szervezve alkalmazzák, kiegészítve javító- és rakéta-utánszállító kapacitással. Komplex kialakítása és az a képessége, hogy rendelkezik ellenség-barát felismerő berendezéssel, alkalmassá teszi az önálló vagy kisebb csoportban történő tevékenységre is, ami nagyban növeli a harctéri rugalmasságot.

¹⁶ 2K22 Tunguska [é. n.]. *Wikipedia*.

*9K33 Osa. NATO-kód: SA-8 Gecko*¹⁷

A Szovjetunióban 1972-ben hadrendbe állt kis hatótávolságú önjáró légvédelmirakéta-komplexum, amelyet korlátozott páncélvédelemmel rendelkező úszóképes BAZ-5937 hatkerekű járműre szereltek.

Felépítményén integrálták a felderítést végző és a tűzvezetésért felelős radarberendezéseket csakúgy, mint az ellenség-barát felismerő rendszert. A ma az ukrán hadsereg által alkalmazott, 1980 óta gyártott OSA-AKM verzióban 6 db-os konténerbe szerelt 9M33M3 rakéta indítására alkalmas indítóberendezés található. Ilyen eszközből Ukrajna a háború elején 125 db-bal rendelkezett. A háború kezdeti szakaszában, 2022. június 4-ig további 2 indítójárművet zsákmányoltak. Az elszenvedett veszteségekről nem állnak rendelkezésre megbízható adatok.

A felderítő radar felderítési távolsága 30 km. A rakéta 15 km-es távolságban 12 km-es magasságig képes a légi célok megsemmisítésére rádióparancs alapján történő rávezetéssel. Az indítójármű egyszerre két rakéta rávezetésére képes. Bár maga a felderítés, célkövetés jó látási viszonyok között történhet optikai úton, a rakéta irányítása akkor is rádiókisugárzással jár.

Egy üteg 4 indítójárműből és 2 töltő-szállító járműből áll. Mivel a felderítési, a rávezetési és az ellenség-barát felismerő képesség mind ott van minden egyes járműben, így lehetőség van azok önálló alkalmazására.

*9K35 Sztrela-10. NATO-kód: SA-13 Gopher*¹⁸

Nagy mozgékonyaságú, kis hatótávolságú rakétakomplexum. Feladata a csapatok közvetlen oltalmazása, a kis magasságon érkező célpontok, elsősorban helikopterek leküzdése jó látási viszonyok között. Ez utóbbi az alkalmazott infravörös rávezetésű rakéta miatt fontos. Az alapváltozatot 1976-ban rendszeresítették a Szovjetunióban. Ma az ukrán haderő az 1989-es Sztrela-10M4 verziót használja.

A rendszer apját az MT-LB nagy manőverezőképességű alváz adja. Erre kerül 2×3 infravörös önirányítású 9M333 rakéta, amelyből az indítójármű málházott állapotban még nyolcat képes szállítani. Ennek 10 km-es a hatótávolsága és 10–3500 m-ig képes a célpontok megsemmisítésre. Az indítórendszer érdekessége, hogy lefelé kompatibilis, így képes a korábbi verziók indítására is.

A célok felderítésére rendelkezésre áll egy 10 km-es hatótávolságú 9A34M2 radar. Befogása optikai és infravörös eszközök segítségével történik. Ha a kezelők csak ez utóbbi rendszereket használják, akkor az indítás pillanatáig képesek lehetnek rejtve maradni.

A háború kitörése után fegyverzeti segélyként a Cseh Köztársaság adott át több példányt Ukrajna részére. Ezekkel és a harctéren igazoltan zsákmányolt négy példánnyal együtt közel 70 ilyen eszközzel rendelkezett északkeleti szomszédunk.

¹⁷ 9K33 Osa [é. n.]. *Wikipedia*.

¹⁸ 9K35 Strela-10 [é. n.]. *Wikipedia*.

9K330 Tor. NATO-kód: SA-15 Gauntlet¹⁹

Kis hatótávolságú önjáró légvédelmirakéta-rendszer. Először 1986-ban állt szolgálatba a Szovjetunióban. Feladata minden időjárási körülmények között leküzdeni a megsemmisítési zónájába berepülő ellenséges eszközöket. Ebbe éppúgy beletartoznak a cirkálórakéták, mint a tűzérési rakéták. Újabban pedig a drónok.

Alapkonfigurációban az MG-355-ös láncaltapas páncélozott alvázra szerelték. Ilyen eszközökkel rendelkezik Ukrajna is. A felépítmény hátulján található a körkörös, 360°-ban körbeforgó, az ellenség-barát felismerő funkciót is magában foglaló felderítő radar. Az elején található a rávezető radar, az oldalán pedig az elektrooptikai berendezések arra az esetre, ha a radar alkalmazása korlátokba ütközne.

A 8 db 9M330 típusú rakétát függőlegesen helyezték el. Ezek nagy manőverezőképességű, rádióparancs-irányítású eszközök. A hatótávolság maximum 12 km, a megsemmisítési zóna közeli határa a függőleges indítás miatt viszonylag nagy, 1500 m, a megsemmisítési magasság maximuma 10 km.

A tűzalegység négy indítójárműből és egy Ranzhir-M parancsnoki és tűzelosztó központból áll. Ez utóbbi teszi lehetővé az együtműködést más légvédelmi rendszerekkel, valamint az integrált alkalmazást. Természetesen lehetőség van az önálló telepítésből történő bevetésre is, ami nagy fokú harctéri rugalmasságot biztosít.

Az ukrán légvédelem a 2022-es évet 6 ilyen rendszerrel kezdte meg. A háború kezdeti időszakában több zsákmányolt orosz berendezésre is szert tett, azt azonban nem tudjuk, hogy ebből sikerült-e valamennyit hadrendbe is állítani.

Pantsir. NATO-kód: SA-22 Greyhound²⁰

Önjáró légvédelmirakéta-rendszer, amely közepes hatótávolságú légvédelmi rakétákat és a közeli légtér oltalmazására légvédelmi gépágyút alkalmaz.

2012-ben állt hadrendbe, elsőként az Oroszországi Föderációban. Moduláris rendszerű, így a várható alkalmazási körülmények szerint többféle alvázra is szerelik. Ukrajna a háború kezdeti szakaszában zsákmányként jutott hozzá igazoltan legalább 3 Kamaz–6560 8 × 8-as²¹ gumikerekes alvázra szerelt verzióhoz.

A fejlesztés során fő feladatként jelölték meg a csoportosítások, létesítmények oltalmazását a kis és közepes magasságon repülő ellenséges légi objektumokkal szemben. Ekkor már kiemelt figyelmet kapott a kis méretű drónokkal szembeni tevékenység is.

A célok detektálását egy 1RSZ1–1E 26 km felderítőtávolsággal bíró deciméteres hullámhosszú radar végzi. Ez a felépítmény tetején található és magában hordozza az ellenség-barát felismerő rendszert is. A torony elején található a centiméteres tűzvezető antenna. Fölötte közvetlenül az elektrooptikai és infravörös blokk, amely szintén alkalmas a cél befogására és követésére.

¹⁹ Tor missile system [é. n.]. *Wikipedia*.

²⁰ Pantsir missile system [é. n.]. *Wikipedia*.

²¹ Pancir-Sz1 – a sokoldalú (2017). *Háború Művészete*, 2017. október 27.

A célok leküzdésére a torony két oldalán 2×6 -os indítómodulban 57E6E rakéták találhatók. Ezek 18 km-es hatótávolsággal és 15 km-es hatómagassággal bíró rádióparancs-vezérlésű rakéták. Az alacsony magasságú célok ellen két 30 mm-es A238M gépágyút építettek be. Ezek 4 km-ig hatásosak akár földfelszíni célpontok ellen is.

S-125 Neva/Pechora. NATO-kód: SA-3 Goa²²

Közepes hatótávolságú, fix telepítésű, rádióparancs-vezérlésű honi légvédelmirakéta-komplexum, amelynek feladata a terület- és objektumvédelem. Talán ez a legrégebb óta szolgálatban álló légvédelmirakéta-rendszer, amely 1961 óta számos, egyre fejlettebb változatban készült. Ilyen komplexum volt az, amelyik Dani Zoltán, a Szerb Légierő alezredese által irányítva a koszovói háború során 1999. március 27-én egy F-117-est semmisített meg találatával.²³

Akkor és azóta is összetett ütegszervezetben alkalmazzák. Egy üteghez 4 db 4 rakéta indítására alkalmas 5P73 indítóállvány, egy UNV tűzvezető radar és egy UNK parancsnoki és tűzvezető berendezés tartozik, valamint egy felderítő és célmegjelölő radar,²⁴ amelynek adatai alapján az UNK az üteg harcát vezeti. Ezt egészíti ki két töltő- és rakéta-utánszállító teherautó és a hozzátartozó javítójármű.

Az indítóállványokat a tűzvezető radar körül négyszögben, általában rombuszelrendezésben telepítik úgy, hogy a rombusz rövidebb párhuzamos oldala a várható fenyegetés irányába nézzen.

Az Ukrajna által ma használt S-125-2D Pechora verzió saját modernizáció eredménye. 2010 és 2018 között 8 komplexumot építettek át erre a verzióra. A rendszer minden elemét modernizálták. Alkalmassá tették a tűzérségi rakéták és a nagy sebességű cirkálórakéták elfogására is aktív elektronikai ellentevékenységgel. Egy cél ellen egyidejűleg 2 célsatornával 2 rakéta rávezetésére képes. A célok tűzvezető radar általi detektálása már 100 km távolságból megtörténhet. A megsemmisítési zónával kapcsolatosan több egymástól eltérő információ is elérhető. A *Wikipedián* például a maximális hatótávolságnak 40 km van feltüntetve, amely inkább megfelelhet a maximális indítási távolságnak közeledő cél esetén. A felújítást végző UkrOboron cég honlapján²⁵ közzétett adatok szerint a céleküzdés maximális ferdetávolsága 35 km, a megsemmisítési zóna vízszintes távoli határa 27 km, a magasság maximuma pedig 21 km.

²² S-125 Neva/Pechora [é. n.]. *Wikipedia*.

²³ Stonefort2 (2017): Mítoszromboló.... 20 éve lőtték le a „lopakodót”. *Jetplanes*, 2017. március 27.

²⁴ Lehet P-15, P-18, SZT-68 és annak helyi változatai, illetve bármely, az üteggel együttműködni képes mobil radar.

²⁵ S-125-2D PECHORA [é. n.]. *SE SFTF „Ukroboronexport”*.

*IRIS-T SL*²⁶

Közepes hatótávolságú légvédelmirakéta-rendszer. Az IRIS-T infravörös önirányítású levegő-levegő rakéta földi indítású verziója. Alkalmas bármilyen légi objektum leküzdésére, amelynek van akkora kisugárzása, hogy az infravörös képalkotó rávezető fej be tudja fogni. Mivel gázdinamikai kormányrendszerrel van felszerelve, így a dinamikus manőverezés sem jelent gondot, ami kifejezetten alkalmassá teszi rakéták elfogására.

A légi indítású változathoz képest megnövelt első fokozattal szerelték fel, ami különböző források szerint 40 km-es hatótávolságig 20 km-es magasságban repülő célok leküzdését biztosítja. Ebben az esetben azonban a rakéta méretét figyelembe véve szemből közeledő célt kell feltételezzünk. A nagyobb hatótávolság miatt elláták adatátviteli berendezéssel is. A rávezetés első szakaszában ezen keresztül történik az irányítás.

A rakéta alapvetően infravörös önirányítású, ez lehetővé teszi az indító járműről történő célbefogást és indítást. Ebben az esetben nagy előny a rejtettség, cserébe csökken a célbefogás hatótávolsága.

2022 júniusában Németország 10 ilyen rendszer átadására tett ígéretet Ukrajnának.²⁷

*NASAMS*²⁸

Közepes és kis hatótávolságú légvédelmirakéta-rendszer. Az IRIS-T SL-hez hasonlóan meglévő levegő-levegő rakétatípust vettek alapul a fejlesztés során. Ez volt az AIM-120 AMRAAM,²⁹ amelynek mára számos verziója áll szolgálatban. A NASAMS ezek mindegyikének indítására alkalmas. A rendszer ezekkel a rakétákkal AMRAAM A/B alkalmazása esetén 25, míg 120-D verzió alkalmazása esetén 40 km-es hatótávolságot képes elérni.

Bár a rendszer viszonylag friss, az első változat 1998-tól áll szolgálatban. Azóta két nagyobb fejlesztésen is átesett. A NASAMS-2 2006-tól a NASAMS-3 2019-től áll szolgálatban. Ez utóbbihoz kifejezetten felszíni indításra kifejlesztették az AMRAAM-IR-t, amellyel már 50 km távolságból is lehetséges a sikeres megsemmisítés.

Az eredeti rakéta félaktív lokátoros önirányítású, de a fejlettebb gyártmányok között megtalálhatóak a kombinált irányítórendszerrel felszereltek is.

A rendszert ütegbe szervezve alkalmazzák. Egy ütegbe 6 db 6 rakéta indítására alkalmas mobil indítóállvány, egy SPQ-64 Sentinel radar, valamint egy FDC³⁰ tüzelosztó központ tartozik.

²⁶ IRIS-T [é. n.]. *Wikipedia*.

²⁷ Ukraine to buy 10 IRIS-T air defence systems from Germany (2022). *Ukrayinska Pravda*, 2022. június 23.

²⁸ National Advanced Surface to Air Missile System: NASAMS [é. n.]. *Wikipedia*.

²⁹ Advanced Medium-Range Air-to-Air Missile.

³⁰ Fire Distribution Center.

Az Egyesült Államok két részletben, 2022 júliusában 2 készlet³¹ és augusztusában újabb 6 készlet³² NASAMS rendszer átadására tett ígéretet Ukrajnának. Bár a pontos altípust a közleményekben nem nevezték meg, az valószínűleg a korábbi verziókra vonatkozik.

Stormer HVM

Közeleli hatótávolságú légvédelmirakéta-rendszer, amely a Stormer³³ harcjárműre telepített 8 db Starstreak³⁴ rakétát alkalmaz. Feladata a csapatok közvetlen oltalmazása a levegőből érkező fenyegetettségekkel szemben.

Az alkalmazott rakéta sajátossága, hogy lézeres rávezetést használ, ami immunissá teszi az infracsapdák alkalmazásával szemben, cserébe a kezelőnek a rávezetést a rakéta teljes repülési ideje alatt biztosítani kell. Helikopterekkel szemben különösen hatékony.

Maximális hatótávolsága 7 km. Harci része 3 nyíllövedékből áll, amelyek mindegyike hordoz egy csapódó gyújtóval ellátott, 1 font³⁵ súlyú töltetet, vagy verziótól függően pusztán kinetikus energiájával pusztítja el a célt. Ez azért lehetséges, mert a kilövés után 4-szeres hangsebességre gyorsul fel a rakéta.

Már a háború kezdeti szakaszában, 2022 áprilisában küldött Nagy-Britannia 6 indítójárművet és több mint száz rakétát, amelyet az ukrán légvédelem sikerrel alkalmaz.³⁶

ZSU-23-4 Shilka

Lánctalpas páncélozott önjáró légvédelmi löveg. A PT-67 alváz továbbfejlesztéseként kialakított GM-575-ös alvázra szerelt 4 db 23 mm-es 2A7 gépágyúból és a torony tetején elhelyezett 1LR33 radarból álló rendszert 1964-ben kezdték gyártani. 1970-től felszerelték ellenség-barát felismerő rendszerrel, ez lett a ZSU-23-4 M3 verzió, amelyre akkor a korábban gyártott példányokat is átépítették. Feladata a közeli légtérbe berepülő ellenséges repülőgépek és helikopterek leküzdése. A 4 gépágyú által kialakított tűzsűrűség az alacsony magasságban tevékenykedő felderítő drónok ellen is – mint az orosz Orlan 10 – hatékony.

Radarja képes a légcélokot 20 km távolságból követésbe fogni. A fegyverek hatótávolsága 2,5 km, függőlegesen 1,5 km. Földfelszíni célok támadása hatótávolságon belül szintén megvalósítható.

³¹ Nomaan MERCHANT (2022): U.S. announces \$820 million in Ukraine military aid, including missile systems. *PBS NewsHour*, 2022. július 1.

³² Nearly \$3 Billion in Additional Security Assistance for Ukraine (2022). *U.S. Department of Defense*, 2022. augusztus 24.

³³ Alvis Stormer [é. n.]. *Wikipedia*.

³⁴ Starstreak [é. n.]. *Wikipedia*.

³⁵ Kb. 4,5 kg

³⁶ Jack BUCKBY (2022): Starstreak, the fastest surface-to-air missile ever made, is bringing down Russian helicopters in Ukraine. *Insider*, 2022. május 11.

Ukrajna a rendelkezésre álló 300 példányt modernizálta. A legújabb ilyen fejlesztés 2017-től³⁷ folyt, ennek eredménye a ZSU-23-4M-A verzió. A berendezések új fázisvezérelt Rokach-AS radart és lézeres távolságmérőt kaptak, ami nagyban javítja a pilóta nélküli felderítő eszközök elleni hatékonyságát. Továbbá 4 rakéta befogadására alkalmas Igla indítóberendezéssel szerelték fel,³⁸ amellyel a megsemmisítési zónát 5 km-re növelték.

A háború kezdeti szakaszában további 4 példány biztosan ukrán kézre került.

*Flakpanzer Gepard*³⁹

Láncaltapas páncélozott önjáró légvédelmi löveg. Alapja a Leopard 1 alváza, erre került a légvédelmigépágyú-rendszer. A két db 35 mm-es Orlicon KDA gépágyú a központi felépítménytorony két oldalán található. A torony tetején, hátul helyezték el a felderítő radart, az elején pedig a tűzvezetésért felelős radart.

A fegyver 5,5 km-es hatótávolsággal bír és 550 vagy 2000 lövés/perc tűzgyorsasággal képes tüzelni.

A fegyverrendszert 1973-tól gyártották. Fő feladata akkor a csapatok közvetlen légi oltalmazása, az alacsonyan repülő merev és forgószárnyas célok leküzdése volt. Természetesen azóta több fejlesztésen is átesetek a leggyártott példányok és a feladatrendszer is kibővült a pilóta nélküli eszközök elleni tevékenységgel.

A német hadsereg a 2000-es években vonta ki aktív szolgálatból. Ezekből ajánlottak fel Ukrajna részére 30 db-ot, amelyből 2022. augusztus 25-ig 15 db beérkezett az új felhasználóhoz.⁴⁰

*AZP S-60*⁴¹

Kis hatótávolságú vontatott légvédelmi gépágyú. Az 1950-es évek elejétől nagy számban gyártott egyszerű, könnyen telepíthető 57 mm-es gyorstüzelő löveg. Tűzgyorsasága 70–120 lövés/perc, hatásos lőtávolsága optikai irányzás esetén 4000 m, radarral történő tűzvezetés esetén 6000 m.

Ukrajna mintegy 400 db ilyen eszközzel rendelkezik, amely a háború kitörésekor telephelyeken, raktárakban állt. Az interneten terjedő felvételek tanúsága szerint⁴² most

³⁷ *Ukrainian Defense Review*, (1). 2019. január–március.

³⁸ Yontzee (2022): ZSU-23-4M-A1 „Rokach”: Shilka Reinigorated. *War Thunder*, 2022. augusztus 11.

³⁹ Flakpanzer Gepard [é. n.]. *Wikipedia*.

⁴⁰ Dan PARSONS (2022): Ukraine Situation Report: Gepard Anti-Aircraft Systems Now In The Fight. *The War Zone – The Drive*, 2022. augusztus 25.

⁴¹ AZP S-60 [é. n.]. *Wikipedia*.

⁴² Ukraine Weapons Tracker [@UAWeapons] (2022): #Ukraine: The Come Back Alive foundation has shared footage of vintage AZP S-60 57mm AA guns in use with Ukrainian forces- but this time in the indirect fire role, enabled by specialised training and software, to „reach out and touch” targets from no less than 6.1km away. *Twitter*, 2022. augusztus 7.

a kikonzervált lövegeket földfelszíni célpontok ellen alkalmazzák 6-os tűzalegységekbe szervezve. A maximális lőtávolság ekkor sem haladja meg a 6,1 km-t.

*ZU-23-2*⁴³

Vontatott kétcsövű légvédelmi gépágyú. Űrméret 23 mm. A különböző helyi konfliktusokban teherautó- és *pick-up* platóra szerelve alkalmazzák előszeretettel. Az 1950-es évektől alkalmazzák nagy számban. Feladata csapatok, objektumok közvetlen oltalmazása alacsonyan szálló repülőgépek, helikopterek ellen.

Maximális lőtávolsága 2,5 km, szárazföldi célok ellen is sikerrel alkalmazható. Az Ukrajna által használt ZU-23-2 2A13 altípus 400, illetve 2000 lövés/perc elméleti tűzgyorsaságra képes. A célzást optikai irányzék segíti. Ez korlátozottan lehetővé teszi a felderítő drónok elleni tevékenységet. Az alkalmazást viszont nagyban befolyásolja, hogy intenzív használat mellett a csöveket 100 lövésenként cserélni kell a túlmelegedés miatt.

Ukrajna a háború elején több mint 1000 ilyen eszközzel rendelkezett, amelyet legalább öt, igazoltan zsákmányként szerzett db egészített ki.

*Mistral*⁴⁴

Szállítható közeli hatótávolságú légvédelmi rakéta. Jellemzően 1, illetve 2 indítóberendezéssel ellátott, telepíthető állványról indítják, de bármilyen hordozóplatformra könnyen integrálható. A Magyar Honvédség például könnyű terepjáró tehergépkocsi platójára szerelve⁴⁵ alkalmazza.

A rakéta passzív infravörös önrávezetést alkalmaz. Hatásos 300 m-től 5 km távolságig kellő intenzitású hőkisugárzással bíró légi célok, elsősorban repülőgépek és helikopterek ellen. A célkutatót, célbefogást az indítóállványon elhelyezett elektrooptikai berendezés biztosítja.

Alkalmazható önállóan és tűzalegységbe szervezve is. Utóbbi esetben több indítóállvány mellett radarral felszerelt MCP⁴⁶ mobil vezetési pont is tartozik hozzá. Ekkor az MCP biztosítja a felderítési adatokat, elvégzi az ellenség-barát azonosítást, és kiadja a célokat az indítóállványok kezelőinek.

⁴³ ZU-23-2 [é. n.]. *Wikipedia*.

⁴⁴ Mistral (missile) [é. n.]. *Wikipedia*.

⁴⁵ SÁLYI Gergő (2021): Sikeresen teljesítették a harcászati képességellenőrzést a győri katonák. *Honvédelem.hu*, 2021. november 5.

⁴⁶ Mistral Coordination Post.

Franciaország már a háború megkezdése előtt szállított Mistral rakétákat Ukrajnába. A háború kitörése után pedig Norvégia küldött további 100 db rakétát és nem közölt mennyiségben indítóállványt.⁴⁷

*PPZR Piorum*⁴⁸

Hordozható kis hatótávolságú légvédelmi rakéta.⁴⁹ Lengyel fejlesztés, a korábbi Grom rakéták leváltására 2019 óta állt szolgálatba. Létezik gépjárműre szerelt indítóállványról bevethető verziója is.

A rakéta infravörös önirányítású. Hatótávolsága 6,5 km, maximális alkalmazási magassága 4 km. Feladata merev és forgószárnyas légi célok kis magasságú elfogása és megsemmisítése.

Ukrajna már 2022 februárját megelőzően, a feszültség növekedésének időszakában, még 2021-ben kapott lengyel segítségként Piorum rakétákat. Így ezekkel az eszközökkel a nagyszabású orosz támadás időszakára már felkészült kezelők dolgoztak, amit több igazolt lelövés bizonyít.⁵⁰

Strela-2.⁵¹ NATO-kód: SA7 Grail

Hordozható kis hatótávolságú infravörös önirányítású légvédelmi rakéta. A Szovjetunióban 1968-ban állították hadrendbe, 1972-től a modernizált Strela-2M követte. A fejlesztés célja az egy ember általi gyors alkalmazhatóság volt. Feladata a közvetlen légi oltalmazás, amelyet keresőfejének gyengesége miatt csak a nagy hőkibocsátású célok, gázturbinás repülő eszközök ellen tud hatékonyan biztosítani.

A Strela-2M hatótávolsága 4,2 km, alkalmazási magassága 2,3 km. A célbefogást a vetőcsőre szerelt optikai irányzék segíti. Magát a befogást a rakéta irányítófeje végzi. Amikor ez megtörténik, hang- és fényjelzéssel tudatja a kezelővel, hogy indításra kész.

A háború kitörése után Németország a korábbi NDK-készletből 2700 db-ot adott át Ukrajna részére. A hosszú idejű tárolás és a karbantartás hiánya miatt ezek jelentős része, mintegy 700 db már nem volt bevethető állapotban.⁵²

⁴⁷ <https://defbrief.com/2022/04/21/norway-supplies-100-mistral-surface-to-air-missiles-to-ukraine/#:~:text=The%20Norwegian%20defense%20ministry%20has%20transferred%20Mistral%20surface-to-air,be%20used%20as%20MANPADs%20or%20fitted%20to%20vehicles>

⁴⁸ Piorun (missile) [é. n.]. *Wikipedia*.

⁴⁹ Az angol terminológiában MANPAD: Man-Portable Air-Defense System.

⁵⁰ Andrzej KIŃSKI (2022): Kolejne potwierdzenie skuteczności zestawów Piorun na Ukrainie? *ZBiAM*, 2022. március 11.

⁵¹ 9K32 Strela-2 [é. n.]. *Wikipedia*.

⁵² Deutschland sendet weitere »Strela«-Raketenwerfer in die Ukraine (2022). *Der Spiegel*, 2022. március 23.

*Strela-3. NATO-kód: SA-14 Gremlin*⁵³

Hordozható kis hatótávolságú infravörös önirányítású légvédelmi rakéta. Az 1970-es évek elején fejlesztették ki a Szovjetunióban a korábbi Strela-2 utódjaként. Elsősorban az infravörös önirányító rendszeren javítottak. Nitrogénnel hűtött érzékelőfejjel látták el, amely sokkal érzékenyebb. Ez azt jelenti, hogy kisebb hőforrásokat nagyobb távolságról is képes befogni. Viszont a bonyolultabb berendezés megnövelt karbantartásigénnyel is jár.

A rakéta hatótávolsága nem változott. Maradt 4,2 km. Magasságban viszont sikerült kiterjeszteni 3 km-re.

Ukrajna ismeretlen számú korábbi szovjet rakétával rendelkezik. Ezek háborúban történő alkalmazásáról jelenleg nincs információ.

*Igla. NATO-kód: SA-18 Grouse*⁵⁴

Hordozható kis hatótávolságú infravörös önirányítású légvédelmi rakéta. Korábbi verziója 1981-től az Igla-1, amely akkor az SA-16 NATO-kódot kapta, majd 1983-tól az Igla. Legújabb verzióját, az Igla-S-s 2002-től gyártják Oroszországban.

Feladata a Strela rakéták leváltása a kis magasságú légi célok leküzdésében. A Strelához képest tovább javították a keresőfej érzékenységet, a zavarvédelmet, ellátták ellenségbarát felismerő képességgel és megnövelték a hatótávolságot.

Az Igla-1 hatótávolsága 5 km, a későbbi Iglaé 5,2 km, az S változaté 6 km. A maximális magasság mindhárom esetén 3,5 km.

Ukrajna a két első típussal biztosan rendelkezik, az utóbbiból pedig valószínűleg vannak zsákmányolt példányai. Az alkalmazás során a sikeres lelövések jelentésénél egységesen az Igla megnevezést alkalmazzák.⁵⁵

*Starstreak*⁵⁶

Kis hatótávolságú hordozható légvédelmi rakéta. A Stormer HVM rendszer ismertetésekor bemutattuk.

Ukrajnába 2022 márciusától érkeznek a Startreakek, amelyeket a helyi erők sikerrel alkalmaznak.⁵⁷

⁵³ 9K34 Strela-3 [é. n.]. *Wikipedia*.

⁵⁴ 9K38 Igla [é. n.]. *Wikipedia*.

⁵⁵ Ukraine's Armed Forces destroy Russian Su-34 fighter jet in Kharkiv region (2022). *Ukrinform*, 2022. április 21.; Lviv paratroopers shoot down Russian Su-25 plane (2022). *Ukrinform*, 2022. május 22.

⁵⁶ Starstreak [é. n.]. *Wikipedia*.

⁵⁷ War in Ukraine: Russian helicopter 'hit by British missile system' (2022). *BBC News*, 2022. április 2.

*FIM-92 Stinger*⁵⁸

Kis hatótávolságú hordozható infravörös önirányítású légvédelmi rakéta. Az első változatot (FIM-92A) 1981-ben állították hadrendbe, azóta több lépcsőben folyamatosan fejlesztették egészen a FIM-92H-ig.

A változatok mindegyike fel van szerelve ellenség-barát felismerő rendszerrel és a rakéta keresőfejének hűtése érdekében cserélhető CBU egységgel. Ez argongáz segítségével 45 másodpercig képes a keresőfej hűtésére. Minden rakétaindítás után cserélni kell a CBU-t is, illetve, ha nem történik rakétaindítás, de a keresőfejet aktiválták, szintén szükséges a cseréje.

Hatótávolsága a korábbi verziók esetén 4 km-es elérhető maximális magasság mellett 4,5 km. Az F változattól kezdődően 7,2 km. A másik jelentős különbség a zavarállóság, amelyet folyamatosan javítottak. A B és a C változattól kezdődően az infracsapdák megkülönböztetésének érdekében az infravörös keresőfejet kiegészítették UV-érzékelőkkel is.

A rakétát integrálták számos önjáró légvédelmi komplexumon, hajókon, sőt megjelent a kis sebességű légi járművek önvédelmi eszközeként is.

Ukrajna 2022. március 7-ig mintegy 2000 db különböző változatú Stinger rakétát kapott, amelyet az Egyesült Államok, Németország, Hollandia, Olaszország, Görögország, Lettország, Litvánia szállított le. Norvégia további 300 példány átadására tett ígéretet.⁵⁹

*Martlet*⁶⁰

Könnyű, többcélú irányított rakéta. A jelen írásban található legújabb fegyver, a jövőben valószínűleg nagy szerepet kapó MML többcélú rakéták első angol fejlesztésű képviselője. Az elmúlt években rendszeresítették hajók, helikopterek és harcjárművek fedélzetén felszíni és légi célok ellen. A MANPAD verzió 2019-re készült el.

A rakéta kombinált félaktív lézeres és infravörös önirányítású rávezetést alkalmaz. A repülés első szakaszában az indítóberendezés által lézerrel megvilágított célt követi, hasonlóan a Starstreaknél alkalmazott eljáráshoz. A végfázisban veszi át a szerepet az infrakeresőfej.⁶¹

A célok megsemmisítését 3 kg-os kumulatív harci rész végzi. Ez teszi lehetővé a harcjárművek és a kisebb hajók elleni bevetését.

A Martlet légvédelmi célú változata kétféle kialakításban létezik, van egyedi indítóberendezésű MANPAD verzió és állványra szerelt. Az állványra három rakétát helyeznek a szükséges célzó és rávezető rendszerek mellett. Hatótávolsága 8 km.

⁵⁸ FIM-92 Stinger [é. n.]. *Wikipedia*.

⁵⁹ Oren LIEBERMANN (2022): At a secret airfield in Eastern Europe, a multinational effort to send weapons to Ukraine proceeds at high speed. *CNN Politics*, 2022. március 7.

⁶⁰ Martlet (missile) [é. n.]. *Wikipedia*.

⁶¹ Kirill RYABOV (2022): Multi-purpose rocket Thales LMM Martlet. Threat of a new generation. *Military Review*, 2022. április 13.

Anglia részéről az Ukrajnának történő átadás egyik célja, a hatékony segítségnyújtás mellett, valószínűleg a harctéri körülmények közötti tesztelés is. Az első szállítmányok már 2022 márciusában megérkeztek. Az első ilyen fegyverek alkalmazásával elért eredményeket áprilistól tették közzé.⁶²

A konfliktus légi műveletei: a légierő alkalmazásainak sajátosságai

Seth G. Jones *Russia's Ill-Fated Invasion of Ukraine, Lessons in Modern Warfare* című elemzésében összefoglalta, hogy az orosz légierő miért nem volt képes a légi fölény kivívására a háború eddigi szakaszaig, és hogy mi jellemezte a légi műveleteket.⁶³

Megítélése szerint az ukrainai orosz légi műveleteket az jellemezte, hogy nagy hangsúlyt fektettek az ukrán katonai és polgári célpontok elleni nagy hatótávolságú csapásokra, azzal a céllal, hogy aláássák Ukrajna alapvető háborús képességeit (hadi potenciálját), gyengítsék az ukrán lakosság morálját, és megbüntessék az országot a Nyugat felé való elmozdulása miatt. Megfigyelők azt várták, hogy a légi műveletek, légi csapások során Oroszország hatékony, precíziós csapásokkal fog operálni, ahogy Valerij Geraszimov tábornok, az orosz fegyveres erők vezérkari főnöke megjegyezte: „A jövőbeli konfliktusok fő jellemzője a precíziós fegyverek és más típusú új fegyverek széles körű alkalmazása lesz.”⁶⁴

A háború korai szakaszában Oroszország arra törekedett, hogy az ukrán légvédelmet országsszerte ballisztikus és cirkálórakéta-csapások (jellemzően KH-101-esekkel) végrehajtásával pusztítsa. Az orosz légierő ezután kibővítette céllistáját az ukrán katonai infrastruktúrával, a nyugatról érkező fegyverszállítmányokkal, üzem- és hadianyaglogisztikai központokkal, meghatározó közlekedésiinfrastruktúra-elemekkel (például hidak), sőt civil célpontokkal is. Jellemző adat, hogy Oroszország a háború első 21 napjában több mint 1100 rakétát lőtt ki ukrán célpontokra, és összesen 2125 rakétát a háború első 68 napján.⁶⁵

A légi fölény elérésének hiányát Jones alapvetően az S-300-as légvédelmirakéta-rendszerek hatékonyságának és a rendkívül nagyszámú Stringer vállról indítható légvédelmirakéta-fegyver alkalmazásának sikerében látja. A MANPAD-ek miatt az orosz repülőgépeket nem alkalmazhatták földközeli magasságon, így a kis és közepes magasságokon döntően a 300-as légvédelmirakéta-komplexumok, kiegészülve a jelentős

⁶² Valius VENCKUNAS (2022): First Russian drone destroyed by a new British Martlet missile in Ukraine. *AeroTime*, 2022. április 10.

⁶³ Seth G. JONES (2022): Russia's Ill-Fated Invasion of Ukraine: Lessons in Modern Warfare. *Center for Strategic & International Studies*, 2022. június 1.

⁶⁴ Валерий Васильевич ГЕРАСИМОВ (2018): Влияние современного характера вооруженной борьбы на направленность строительства и развития вооруженных сил российской федерации. Приоритетные задачи военной науки в обеспечении обороны страны. *Вестник Академии Военных Наук*, 63(2), 16–22. (Valerij Vasziljevics GERASIMOV [2018]: A fegyveres harc modern jellegének hatása az Oroszországi Föderáció fegyveres erőinek építésének és fejlődésének irányára. A katonai tudomány kiemelt feladatai az ország védelmének biztosításában. *A Hadtudományi Akadémia Értesítője*, 63(2), 16–22.)

⁶⁵ Senior Defense Official Holds a Background Briefing (2022). *U.S. Department of Defense*, 2022. május 2.

mennyiségű Buk-M1 légvédelmirakéta-csapatfegyverekkel, gyakorlatilag visszatartották a légi ellenséget az ukrán ellenőrzés alatt lévő területek légterétől. Így a klasszikus légi támogatási feladatokat az orosz légierő nem tudta biztosítani a szárazföldi haderőnek, amely csak saját tűzérére támaszkodhatott a tűztámogatás helyett. Ezen kívül nemcsak a tűzzel való támogatás volt csekély, hanem az egyéb hagyományos támogatás, mint a légi felderítés, a légi vezetés-biztosítás, a kutatás-mentés és az elektronikai hadviselés a levegőből is elhanyagolható volt.

Az eddig felsoroltakon kívül az orosz légierőnek visszatérő logisztikai kihívásokkal kellett szembenéznie, többek között nagy hatótávolságú, precíziós irányítású fegyverkészleteinek csökkenésével.

Három héttel a háború kezdete után már megfigyelhető volt, hogy az orosz légierő elkezdett kifogyni a precíziós irányítású lőszerkekből, például a lézer- és műholdirányítású bombákból, ami arra késztette az oroszokat, hogy egyre több irányítatlan tűzérségi lövedéket, rakétát használjanak. Eltérő a megítélése annak, hogy tényleges hiányról van-e szó, vagy az agresszor tartalékokat képezett az esetleges eszkalációra felkészülve. Ezt kiegészítette az a nyilvánvaló tény, hogy az orosz hadiipari kapacitás nem tudta/tudja pótolni a felhasznált készleteket a megkívánt mértékben.

Hosszú távon Oroszország az amerikai és más nyugati szankciók miatt ellátási láncbeli kihívással szembesülhet. Erre több példát találhatunk a szakajtóban, hogy nyugati technológiák nélkül az orosz fegyverrendszerek gyártása, javítása ellehetetlenül (például a 9M729 cirkálórakéta rögzítői, de a 9M949 lézeres giroszkópjai, a Tor-M2 légvédelmi rakéta rendszer oszcillátora is ebbe a körbe tartozik). Ezek az ellátási láncsal kapcsolatos kihívások valószínűleg hatással lesznek Oroszország rövid és hosszú távú alkatrészellátására, arra kényszerítve Oroszországot, hogy helyettesítő piacokat keressen.

Összességében ezek a kihívások aláásták Moszkva azon kísérletét, hogy légi uralmat/légi fölényt alakítson ki Ukrajna felett, és hatékony precíziós csapásokat hajtson végre, és támogassa az előre nyomuló orosz szárazföldi erőket.

Tyson Wetzel alezredes, az Egyesült Államok Légierőjének tisztje elemzésében⁶⁶ rámutat, hogy az Oroszországi Föderáció kezdeti légi csapásai nem voltak eléggé hatékonyak a koncentrált célkezelés hiánya miatt: a célok eloszlottak az egész országban, nem összpontosultak a kritikus elemekre. Ugyanez elmondható volt a légvédelmi rendszer elnyomásának műveletei során is, így az ukrán légvédelem és harcászati repülőerőforrások jelentős része harcképes maradt, sőt az ukrán integrált légvédelmi rendszer relatíve zavartalanul működött tovább, folyamatos fenyegetést jelentve és veszteségeket okozva az agresszor légierőjének. Wetzel szerint az is hozzájárult az oroszok sikertelenségéhez, hogy a kinetikus és nem kinetikus műveletek (kiber- és elektronikai hadviselés) összehangolása, a „*soft* módszerek” integrálása a hagyományos „domének” műveleteibe nem volt hatékony.

Csak említés szintjén térünk ki az UAV/UAS-ok, drónok egyre elterjedtebb harctéri alkalmazásának következményeire, amelyek alapjaiban is hozzájárulnak ahhoz, hogy

⁶⁶ TYSON WETZEL (2022): Ukraine air war examined: A glimpse at the future of air warfare. *Atlantic Council*, 2022. augusztus 30.

a légi hadviselés jellege változóban van. A szerző ezt a „légierő demokratizálódása” megnevezéssel illeti, amely alatt jellemzően azt érti, hogy a légtér katonai célú igénybevételeben a relatíve nagy értékű speciális katonai célra fejlesztett rendszerek (harci repülőgépek, helikopterek, pilóta nélküli rendszerek, rakéták) mellett kis költségű, „olcsó”, kereskedelmi forgalomban könnyen beszerezhető (COTS – Commercial-off-the-Shelf) drónokat is bevetnek.

E tanulmány szerzője is publikált erről a jelenségről, ami a 2014-es krími annektálás utáni ukrán civil drónos támogatást elemzi.⁶⁷ Wetzel azonban nem szűkíti le a drónokra ezt a demokratizálódási folyamatot, hanem kiterjeszti az űrre és a kibertérre is.

Az orosz–ukrán háborúban az űrkapacitások demokratizálódásának legtisztább példája az volt, hogy Ukrajna a SpaceX Starlink szolgáltatásait használta műholdas kommunikációra. Közvetlenül a szárazföldi invázió elindítása előtt Oroszország fel-törte a Viasatot, amelyre Ukrajna támaszkodott a műholdas kommunikáció során. Két nappal később Fedorov miniszterelnök-helyettes, Ukrajna digitális átalakulásért felelős minisztere felkérte Elon Muskot a Twitteren, hogy biztosítson Starlink-berendezéseket és -szolgáltatásokat Ukrajnának. Musk és a SpaceX ezt megtette, berendezéseket küldött Ukrajnába, és hozzáférést biztosított a Starlink több mint hétezer műholdból álló hatalmas konstellációjához. Annak ellenére, hogy oroszok erőfeszítéseket tettek a jel zavarására, a Starlink biztonságos, redundáns és rugalmas kommunikációt biztosított az ukrán erőknek, amelyet a drónok irányítására, a tűzérési csapások vezetésére és számos egyéb katonai funkciók végrehajtására is felhasználtak.

A Starlink-példa bemutatja az ipar erejét a csúcskategóriás, űralapú képességek biztosításában, de azt is, hogy a nemzetek hogyan használják fel a viszonylag olcsó kereskedelmi űrvállalatokat és -képeket az űralapú hadi küldetések végrehajtására. Ukrajna egyedülálló eset volt, és nem valószínű, hogy a SpaceX ingyenesen nyújtana ilyen típusú szolgáltatásokat az Egyesült Államok ellenfeleinek. Mindazonáltal ez a példa bepillantást enged abba, hogy a nemzetek – potenciálisan az Egyesült Államok ellenfelei vagy versenytársai – hogyan használhatják ki az űrműveletek változó gazdaságossági előnyeit, és hogyan használhatják fel kereskedelmi képességeiket háborús küldetések végrehajtására és támogatására.

A műholdas kommunikáció mellett számos kép-, időjárás- és egyéb űralapú szolgáltatás érhető el a kereskedelemben, amelyet a nyugati világ következő ellenfele alkalmazhat.

A tanulmány a végén következtetéseket és ajánlásokat fogalmaz meg:

- Bár a háború kimenetele még mindig kérdéses, a légi háború eddigi előrehaladását vizsgálva már sok mindenre lehet következtetni.
- Az Egyesült Államoknak és szövetségeseinek, partnereinek fel kell használniuk Oroszország elhibázott légi hadjáratának tanulságait, és módosítaniuk kell felszerelésüket, doktrínájukat, taktikájukat és kiképzésüket, hogy figyelembe vegyék a légi- és űrerő demokratizálódását, amely alapvetően megváltoztathatja a légi és űrhadviselés karakterét.

⁶⁷ KRAJNC Zoltán (2018): Drónok, hibrid fenyegetés, terrorizmus a légtérből: a légi hadviselés privatizálása. *Hadmérnök*, 13(4).

- A fegyveres konfliktusok légi szegmensének jövőbeli lefolyásának pontosabb előrejelzése, valamint a jövő légi és űrhadjáratait uralni képes erő és képességek megtervezése révén az Egyesült Államok és barátai stratégiai versenytársaiknál jobb helyzetben lesznek a jövőbeli nagy intenzitású konfliktusokban.

Maximilian K. Bremer és Kelly A. Grieco tanulmányában az eddigiektől merészebb következtetésekre jutott.⁶⁸

Ukrajna eddigi sikere a légi hadviselésben a feje tetejére állította a Nyugat légierő-paradigmáját, és alternatív víziót kínál a mai, általánosan elfogadott légi műveleti megközelítés helyett. A kiindulópont az, hogy annak ellenére, hogy a világ egyik legnagyobb és technológiailag legfejlettebb légierője Oroszországnak van, mégsem sikerült megteremtenie légi fölényt Ukrajnával szemben.

A szerzők szerint a nyugati légierő továbbra is azt az utat követi, amelyet Giulio Douhet, William „Billy” Mitchell és Hugh Trenchard nevével jellemezhetünk.

A légierő-elmélet alapító atyái a légtér uralásának vagy a mai doktrína szerint a légi fölénynek az elnyeréséért és fenntartásáért küzdöttek. Kissé leegyszerűsítve Douhet azt mondta, hogy a levegő uralma azt jelenti, hogy olyan helyzetben vagyunk, hogy megakadályozzuk az ellenség repülését, miközben megtartjuk saját repülési képességünket. Ez a felfogás Alfred Thayer Mahan tengeriuralom-elméletének népszerű olvasatán alapult, amelyben a cél az ellenséges flotta felkutatása és megsemmisítése döntő csatában.

A szerzők szerint egy évszázaddal később ez a vízió továbbra is szilárdan beépült a nyugati légierők doktrínájába és szellemiségébe. Ám az ukrajnai légi háború, ahol egyik fél sem uralja egyértelműen a légteret, azt sugallja, hogy a légi fölény megszerzésének ellehetetlenítése néha hatékonyabb, racionálisabb műveleti cél, mint annak közvetlen megszerzése.

Bremer és Grieco azt javasolta, hogy a légierő tervezői gondolják újra sir Julian Corbett elméletét, és adaptálják azt a mai korszerű légi hadviselési viszonyokra.

Corbett szkepticizmussal tekintett a tenger teljes uralására, a tengeri hadviselési folyamatok teljes körű irányítására, és azzal érvelt, hogy a tengeri hadviselés leggyakoribb helyzete az, hogy egyik félnek sincs döntő uralma a vizek felett. A tengeri uralom relatív, nem pedig abszolút értelmezését részesítette előnyben, és időben vagy térben körülhatárolt, működő irányítási képességet, fölényt (uralmat) akart.

Corbett számára a racionalitás a tengeri hadszíntér megtagadása az ellenség számára. Érvelése szerint, ha egy haditengerészet nem elég erős ahhoz, hogy átvegye a tenger feletti parancsnokságot, akkor is megkísérelheti korlátozni vagy meggátolni a másik oldal tengeri hasznosításának képességét. Ezt a koncepciót vitatott uralomnak nevezte, és elképzelése szerint a gyengébb fél aktív védekezést folytat, amelyben a kisebb haditengerészet elkerülheti a közvetlen csatát, de továbbra is fenyegető, aktív és mobil marad, megakadályozva, hogy az erősebb ellenség gyakorolja az irányítást.

⁶⁸ Maximilian K. BREMER – Kelly A. GRIECO (2022): In Denial About Denial: Why Ukraine’s Air Success Should Worry the West. *War on the Rocks*, 2022. június 15.

A szerzők Corbett-mesterkurzusnak nevezik Ukrajna légi hadviselését Oroszország ellen, mert láthatóan a megtagadási stratégia ezen a területen is működik.

Ukrajna a mobilitást és az erők megosztását használta légvédelmének fenntartásához. A hidegháborús korszak keverékét működtető, szovjet gyártmányú, mobil föld-levegő rakétarendszerekkel működő ukrán védelmi erők távol és fenyegetettségben tartották az orosz repülőgépeket. Corbett tanácsa szerint kihasználva a széttagoaltságot és a mobilitást az ukrán légvédelmi erők a „tűzelj, és felejtsd el” taktikát alkalmazzák, kilövik a rakétaikat, és gyorsan elmanővereznek az indítóhelyről.

A végkövetkeztetésük szerint eljön/eljött a légi hadviselés új korszaka, mert ebben a tekintetben az ukrainai légi háború valószínűleg inkább szabály, mint kivétel. Megrázó bepillantást nyújt a légi hadviselés jövőjébe, amelyben akár közepes méretű hatalmak, nem is beszélve más nagyhatalmakról, egyre inkább ellenőrizni fogják, és elzárják a légtér az Egyesült Államoktól és más nyugati légierőktől. A fejlett, rendkívül mobil, nagy hatótávolságú föld-levegő rakétafegyverek, az ember által hordozható légvédelmi rendszerek és az intelligens lőszer globális elterjedése – valamint a hálózatba kapcsolt pilóta nélküli rendszerek, a kettős felhasználású robotika, az érzékelők és fejlett anyagok terén elért folyamatos fejlődés – indukálja a paradigmaváltozást. Az eseményeket megfigyelő kis- és közepes államok minden bizonnyal felfigyeltek rá, és igyekezni fognak ilyen képességeket megszerezni maguknak, bevezetve az egyre inkább robotizált légierő korszakát, amely precíziós csapásmérő képességekkel is rendelkezik, amelyek hatékonyak és olcsóbbak, mint a hagyományos ember vezette harci repülőgépek.

Befejezés helyett: a légvédelmirakéta-csapatok alkalmazásának összegzett tapasztalatai

Az ukrán légvédelmirakéta-csapatok alkalmazásának elgondolása szerves részét képezi a fegyveres erők hadművelleti-harcászati alkalmazását meghatározó terveknek. A szerzők szerint egyértelműnek tűnik, hogy Ukrajna, belátva az agresszor mennyiségi és minőségi fölényét, nem törekszik a klasszikus értelemben vett légi fölény/légi uralom megtartására/kivívására a teljes hadszíntéren.

Művelési céljaiban inkább az lehet a meghatározó, hogy megkísérli az orosz légierőt kiszorítani a fontos művelési területekről, megakadályozni ezzel, hogy hatékony tűz- és felderítő támogatást nyújtson a szárazföldi zászlóaljoknak, harccsoportoknak, amelyek hatékonysága így jelentősen csökken. Jól érzékelhető, hogy ebben a fő szerepet a földi telepítésű légvédelem játssza, mégpedig kihasználva annak sokszínűségét. Gondolunk itt arra, hogy a legjelentősebb képességekkel bíró és jelentős számú üteggel még harc képes S-300 légvédelmi fegyverrendszer-család képezi a légvédelem gerincét. Ez a rendszer képes ballisztikusrakéta-védelemre is, így az ukránok zonális objektum szerinti oltalmazásban viszonylag nagyobb térségekben is képesek légvédelmi tűzrendszert létrehozni.

Az S-300-as rendszereket jól kiegészítik az egyéb képességekkel bíró fegyverrendszerek (jelentősebb mértékben a KUB, a BUK-M1 és az S-125D), amelyekkel egyfajta

légyvédelmi klasztert alkothatnak, amelynek védőernyője alatt statikus objektumok és manőverező erők is lehetnek.

A nagyobb, jelentősebb rendszereket kiegészítik a kis és közeli hatótávolságú fegyverek (MANPAD-ek, Tor, Osa, Tunguska, Pantsir, csöves légyvédelem stb.), amelyek nagy mobilitást és váratlan helyen és időben való alkalmazást eredményeznek, valamint a kis és földközeli repülést rendkívül kockázatosá teszik az orosz harci repülőgépek számára.

Mai tudásunkkal (2022. augusztus 31.) úgy tűnik, hogy óvatos becsléssel is az ukrán légyvédelmirakéta-erők jelentős része hadra fogható, és egyre közelebbinek látszik az igazán jelentős nyugati fegyverrendszerek megérkezése a hadszíntérre. Ez a korábban elképzelhetetlen támogatás, amelynek keretében NASAMS és IRIS-T csúcskategóriás légyvédelmirakéta-fegyverek kerülnek be az ukrán rendszerbe, jelentős képességtelődést is lehetővé tehet.

Felhasznált irodalom

- 2K12 Kub [é. n.]. *Wikipedia*. Online: https://en.m.wikipedia.org/wiki/2K12_Kub
- 2K22 Tunguska [é. n.]. *Wikipedia*. Online: https://en.m.wikipedia.org/wiki/2K22_Tunguska
- 9K32 Strela-2 [é. n.]. *Wikipedia*. Online: https://en.m.wikipedia.org/wiki/9K32_Strela-2
- 9K33 Osa [é. n.]. *Wikipedia*. Online: https://en.m.wikipedia.org/wiki/9K33_Osa
- 9K34 Strela-3 [é. n.]. *Wikipedia*. Online: https://en.m.wikipedia.org/wiki/9K34_Strela-3
- 9K35 Strela-10 [é. n.]. *Wikipedia*. Online: https://en.m.wikipedia.org/wiki/9K35_Strela-10
- 9K38 Igla [é. n.]. *Wikipedia*. Online: https://en.m.wikipedia.org/wiki/9K38_Igla
- Alvis Stormer [é. n.]. *Wikipedia*. Online: https://en.m.wikipedia.org/wiki/Alvis_Stormer
- AZP S-60 [é. n.]. *Wikipedia*. Online: https://en.m.wikipedia.org/wiki/AZP_S-60
- BREMER, Maximilian K. – GRIECO, Kelly A. (2022): In Denial About Denial: Why Ukraine's Air Success Should Worry the West. *War on the Rocks*, 2022. június 15. Online: <https://warontherocks.com/2022/06/in-denial-about-denial-why-ukraines-air-success-should-worry-the-west/>
- BRONK, Justin (2022b): The Mysterious Case of the Missing Russian Air Force. *Royal United Service Institute*, 2022. február 28. Online: <https://rusi.org/explore-our-research/publications/commentary/mysterious-case-missing-russian-air-force>
- BRONK, Justin (2022a): Is the Russian Air Force Actually Incapable of Complex Air Operations? *Royal United Service Institute*, 2022. március 4. Online: <https://rusi.org/explore-our-research/publications/rusi-defence-systems/russian-air-force-actually-incapable-complex-air-operations>
- BUCKBY, Jack (2022): Starstreak, the fastest surface-to-air missile ever made, is bringing down Russian helicopters in Ukraine. *Insider*, 2022. május 11. Online: www.businessinsider.com/british-starstreak-missile-is-shooting-down-russian-helicopters-in-ukraine-2022-5
- Comparison of Russia and Ukraine Military Strengths (2023) [é. n.]. *Global Firepower*. Online: www.globalfirepower.com/countries-comparison-detail.php?country1=russia&country2=ukraine
- Deutschland sendet weitere »Strela«-Raketenwerfer in die Ukraine (2022). *Der Spiegel*, 2022. március 23. Online: <https://spiegel.de/ausland/annalena-baerbock-deutschland-sendet-weitere-strela-raketenwerfer-in-die-ukraine-a-81694c51-3b22-4393-818c-00bcbf3d2762>
- FIM-92 Stinger [é. n.]. *Wikipedia*. Online: https://en.m.wikipedia.org/wiki/FIM-92_Stinger
- Flakpanzer Gepard [é. n.]. *Wikipedia*. Online: https://en.m.wikipedia.org/wiki/Flakpanzer_Gepard

- Holcomb, Franklin: The Order of Battle of the Ukrainian Armed Forces: A Key Component in European Security, 2016, Institute of War, www.understandingwar.org/sites/default/files/ISW%20Ukrainian%20ORBAT%20Holcomb%202016_0.pdf
- IRIS-T [é. n.]. *Wikipedia*. Online: <https://en.m.wikipedia.org/wiki/IRIS-T>
- JONES, Seth G. (2022): Russia's Ill-Fated Invasion of Ukraine: Lessons in Modern Warfare. *Center for Strategic & International Studies*, 2022. június 1. Online: www.csis.org/analysis/russias-ill-fated-invasion-ukraine-lessons-modern-warfare
- KRAJNC Zoltán (2018): Drónok, hibrid fenyegetés, terrorizmus a légtérből: a légi hadviselés privatizálása. *Hadmérnök*, 13(4). Online: http://hadmernok.hu/184_29_kranjc.pdf
- KIŃSKI, Andrzej (2022): Kolejne potwierdzenie skuteczności zestawów Piorun na Ukrainie? *ZBiAM*, 2022. március 11. Online: <https://zbiam.pl/kolejne-potwierdzenie-skutecnosci-zestawow-piorun-na-ukrainie>
- LIEBERMANN, Oren (2022): At a secret airfield in Eastern Europe, a multinational effort to send weapons to Ukraine proceeds at high speed. *CNN Politics*, 2022. március 7. Online: <https://edition.cnn.com/2022/03/06/politics/mark-milley-ukraine-military-assistance/index.html>
- Lviv paratroopers shoot down Russian Su-25 plane (2022). *Ukrinform*, 2022. május 22. Online: www.ukrinform.net/rubric-ato/3489412-lviv-paratroopers-shoot-down-russian-su25-plane.html
- Martlet (missile) [é. n.]. *Wikipedia*. Online: [https://en.m.wikipedia.org/wiki/Martlet_\(missile\)](https://en.m.wikipedia.org/wiki/Martlet_(missile))
- MERCHANT, Nomaan (2022): U.S. announces \$820 million in Ukraine military aid, including missile systems. *PBS NewsHour*, 2022. július 1. Online: www.pbs.org/newshour/politics/u-s-announces-820-million-in-ukraine-military-aid-including-missile-systems
- Mistral (missile) [é. n.]. *Wikipedia*. Online: [https://en.m.wikipedia.org/wiki/Mistral_\(missile\)](https://en.m.wikipedia.org/wiki/Mistral_(missile))
- NASAMS [é. n.]. *Wikipedia*. Online: <https://en.m.wikipedia.org/wiki/NASAMS>
- Nearly \$3 Billion in Additional Security Assistance for Ukraine (2022). *U.S. Department of Defense*, 2022. augusztus 24. Online: <https://defense.gov/News/Releases/Release/Article/3138105/nearly-3-billion-in-additional-security-assistance-for-ukraine/>
- Pancir-Szl – a sokoldalú (2017). *Háború Művészete*, 2017. október 27. Online: www.haboru-muveszete.hu/
- Pantsir missile system [é. n.]. *Wikipedia*. Online: https://en.m.wikipedia.org/wiki/Pantsir_missile_system
- PARSONS, Dan (2022): Ukraine Situation Report: Gepard Anti-Aircraft Systems Now In The Fight. *The War Zone – The Drive*, 2022. augusztus 25. Online: www.thedrive.com/the-war-zone/ukraine-situation-report-gepard-anti-aircraft-systems-now-in-the-fight
- Piorun (missile) [é. n.]. *Wikipedia*. Online: [https://en.m.wikipedia.org/wiki/Piorun_\(missile\)](https://en.m.wikipedia.org/wiki/Piorun_(missile))
- RYABOV, Kirill (2022): Multi-purpose rocket Thales LMM Martlet. Threat of a new generation. *Military Review*, 2022. április 13. Online: <https://en.topwar.ru/194854-mnogocелевая-raketa-thales-lmm-martlet-ugroza-novogo-pokolenija.html>
- S-125 Neva/Pechora [é. n.]. *Wikipedia*. Online: https://en.m.wikipedia.org/wiki/S-125_Neva/Pechora
- S-125-2D PECHORA [é. n.]. *SE SFTF „Ukroboronexport”*. Online: http://ue.com.ua/products/en/?id=0&pid=catalogue&language=eng&catalogue_id=228&type=contenthttps://jetplanes.blog.hu/2017/03/27/mitoszrombolo_18_eve_lottek_le_a_lopakodot
- SA-6 Gainful 2K12 Kub Ground-to-air missile system (2017). *Army Recognition*. Online: https://armyrecognition.com/russia_russian_missile_system_vehicle_uk/sa-6_gainful_2k12_kub_ground-to-air_missile_system_technical_data_sheet_specifications_information.html

- SÁLYI Gergő (2021): Sikeresen teljesítették a harcászati képességellenőrzést a győri katonák. *Honvedelem.hu*, 2021. november 5. Online: <https://honvedelem.hu/hirek/sikeresen-teljesitetek-a-harcaszati-kepessegellenorzest-a-gyori-katonak.html>
- Senior Defense Official Holds a Background Briefing (2022). *U.S. Department of Defense*, 2022. május 2. Online: www.defense.gov/News/Transcripts/Transcript/Article/3017053/senior-defense-official-holds-a-background-briefing/
- Starstreak [é. n.]. *Wikipedia*. Online: <https://hu.wikipedia.org/wiki/Starstreak>
- Stonefort2 (2017): Mítoszromboló.... 20 éve lőtték le a „lopakodót”. *Jetplanes*, 2017. március 27. Online: https://jetplanes.blog.hu/2017/03/27/mitoszrombolo_18_eve_lottek_le_a_lopakodot
- Tor missile system [é. n.]. *Wikipedia*. Online: https://en.m.wikipedia.org/wiki/Tor_missile_system
- Ukraine to buy 10 IRIS-T air defence systems from Germany (2022). *Ukrayinska Pravda*, 2022. június 23. Online: www.pravda.com.ua/eng/news/2022/06/23/7354251/
- Ukraine Weapons Tracker [@UAWeapons] (2022): #Ukraine: The Come Back Alive foundation has shared footage of vintage AZP S-60 57mm AA guns in use with Ukrainian forces- but this time in the indirect fire role, enabled by specialised training and software, to „reach out and touch” targets from no less than 6.1km away. *Twitter*, 2022. augusztus 7. Online: <https://twitter.com/UAWeapons/status/1556393302144040969>
- Ukraine’s Armed Forces destroy Russian Su-34 fighter jet in Kharkiv region (2022). *Ukrinform*, 2022. április 21. Online: www.ukrinform.net/rubric-ato/3463692-ukraines-armed-forces-destroy-russian-su34-fighter-jet-in-kharkiv-region.html
- Ukrainian Defense Review*, (1). 2019. január–március. Online: https://issuu.com/ukrainian_defense_review/docs/udr_1/26
- VENCUNAS, Valius (2022): First Russian drone destroyed by a new British Martlet missile in Ukraine. *AeroTime*, 2022. április 10. Online: www.aerotime.aero/articles/30717-russian-drone-destroyed-by-british-martlet-missile
- War in Ukraine: Russian helicopter ‘hit by British missile system’ (2022). *BBC News*, 2022. április 2. Online: www.bbc.com/news/av/world-europe-60968544
- WETZEL, Tyson (2022): Ukraine air war examined: A glimpse at the future of air warfare. *Atlantic Council*, 2022. augusztus 30. Online: www.atlanticcouncil.org/content-series/airpower-after-ukraine/ukraine-air-war-examined-a-glimpse-at-the-future-of-air-warfare/
- Yontzee (2022): ZSU-23-4M-A1 ‘Rokach’: Shilka Reinvigorated. *War Thunder*, 2022. augusztus 11. Online: <https://forum.warthunder.com/index.php?/topic/560686-zsu-23-4m-a1-rokach-shilka-reinvigorated/>
- ZU-23-2 [é. n.]. *Wikipedia*. Online: <https://en.m.wikipedia.org/wiki/ZU-23-2>
- ГЕРАСИМОВ, Валерий Васильевич (2018): Влияние современного характера вооруженной борьбы на направленность строительства и развития вооруженных сил российской федерации. Приоритетные задачи военной науки в обеспечении обороны страны. *Вестник Академии Военных Наук*, 63(2), 16–22. ISSN 2073-8641 (GERASIMOV, Valerij Vasziljevics [2018]: A fegyveres harc modern jellegének hatása az Oroszországi Föderáció fegyveres erőinek építésének és fejlődésének irányára. A katonai tudomány kiemelt feladatai az ország védelmének biztosításában. *A Hadtudományi Akadémia Értesítője*, 63(2), 16–22. ISSN 2073-8641)

Vákát

Az orosz–ukrán háború tanulságai védelmi ipari szempontból vizsgálva

Az orosz–ukrán háború olyan konfliktus, amelyhez hasonló talán 50 éve nem zajlott a bolygón. A világ második legerősebbnek tartott hadserege kinetikus háborúban próbál elfoglalni egy országot, amelynek védelmi harcát a világ legfejlettebb országai támogatják. Egyértelmű, hogy ennek a háborúnak, akárhogy is zajlik le, óriási lesz a hatása a hadtudomány alakulására. A tapasztalatok feldolgozása már el is kezdődött. Ez a tanulmány a védelmi ipar szempontjából vizsgálja az eseményeket, és megpróbál minél több tapasztalatot és következtetést levonni. Olyanokat, mint hogy az értékláncokhoz történő hozzáférés továbbra is kulcsfontosságú, a polgári cégek és ágak szerepe tovább növekszik, jelentős kapacitáskorlátokkal küzd a globális védelmi ipar, a hidegháború után újra előtérbe kerül a gazdaság túlélőképessége, mennyire fontos a társadalom általános műszaki, valamint védelmi ipari tudásszintje, illetve hogy a hadviselés változása milyen következményekkel kell hogy járjon a védelmi ipari kutatás-fejlesztésre és gyártásra.

Kulcsszavak: védelmi ipar, orosz–ukrán háború, hadviselés, katonai logisztika

The Defense Industrial Lessons of the Russian–Ukrainian War

It has been 50 years since the world last time saw a conflict similar to today's Russian–Ukrainian war. In a kinetic military action, the Russian military, considered to be the second strongest one in the world, is trying to occupy another country whose defense is supported by the most developed ones. It is clear that this war will have a huge impact on the military science. The processing of experiences has already begun. This paper analyzes the events from the aspect of defense industry and tries to draw appropriate conclusions. These are the following ones: the importance of having access to the value chains continues to stand, the role of the civilian branches and companies continues to grow, the global defense industry fights with serious capacity problems, the economic resilience as defense ability reappears after the Cold War, the importance of the general engineering and specific defense engineering knowledge of the society is highlighted by the war, and the change of warfare will have strong effects on the defense industrial research and development programs.

Keywords: defense industry, Russian–Ukrainian war, warfare, military logistics



Bevezetés: mit tudunk, és mit nem tudunk?

2022 tavaszán az egyik tanórán megkérdezték a hallgatók, hogy mire képes az orosz védelmi ipar. Csak a következőt tudtam válaszolni: „Nem tudjuk. És jó eséllyel Vlagyimir Putyin sem tudja.” Ez utóbbinak van gazdasági-műszaki (az értékláncokhoz történő hozzáférés teljes bizonytalansága Oroszország részéről), illetve társadalmi rendszerspecifikus (erősen autokratikus rendszerben általában nagyon durván torzult, a vélt vagy valós elvárásoknak megfelelően kozmetikázott információk áramlanak fölfelé) háttere is.

Viszont egy tanulmánynak – különösen, ha egy doktori iskola jubileumi kötetében jelenik meg – inkább arról kell szólnia, hogy mi az, amit tudunk. Tudjuk például, hogy milyen átalakuláson ment keresztül már a háború előtt is a világ védelmi ipara.¹ Elég pontosan tudjuk azt is, hogy milyen eszközöket, platformokat használnak a háborús felek. Ezek még nyíltan is jól elérhetők,² az egyes információszerzéssel foglalkozó nemzetbiztonsági szolgálatok pedig szinte 100%-os pontossággal lehetnek képesek ezt meghatározni. Ennek oka, hogy a polgári és katonai technológiák összemosódásából adódóan soha nem látott mértékű, pontosságú és gyorsaságú rálátással rendelkeznek a felek a hadműveleti területen (illetve az amögött) zajló eseményekre. Erre jó példa a teljesen polgári Maxar cég, amelynek műholdjai soha nem látott fókuszú és pontosságú, valós idejű felvételeket biztosítanak – a Pentagonon keresztül – az ukrán katonai döntéshozatalnak.³ Ugyanígy bármikor felvételeket készíthet bármely járőkelő vagy autós is a zsebében lévő telefonnal az éppen mellette elhaladó katonai konvojról mindenféle különösebb titkosügynöki szaktudás nélkül, amelyet rövid időn belül vagy akár szinte azonnal fel is tölthet az internetre. Vagy éppen egy turisztikai ügynökség biztonsági kamerája szolgáltathat tökéletes információt az ellenség mozgásáról.⁴

Ebből a korábban soha nem látott mértékű nyilvánosságból adódik, hogy teljesen felesleges a háborús feleknek titkolni bevetett haditechnikai eszközeiket. Sőt, ellenkezőleg, mivel minden korábbinál szélesebb platformon folyik kommunikációs – és hibrid – hadviselés is a felek között mind saját társadalmuk támogatásának megőrzése, mind a külföldi szimpatizánsok és támogatók táborának növelése érdekében, ezért a titkolódzásnál sokkal nagyobb haszonnal jár a bevetett modern haditechnikai eszközök bemutatása – különösen műveleti feladat végrehajtása közben. Éppen ezért pont az orosz és az ukrán hivatalos vagy félhivatalos források mutatják talán a legpontosabb képet arról, hogy az adott fél milyen eszközparkkal is vesz részt a háborúban.

A fentiek alapján fél évvel⁵ a háború kitörése után már elég nagy bizonyossággal kijelenthető, hogy az orosz védelmi ipar elég limitált módon képes támogatni a háborút,

¹ TAKSÁS Balázs (2022): Hadiipari transzformáció a 21. században. In M. SZABÓ Miklós (szerk.): *A hadtudomány aktuális kérdései napjainkban: I. kötet*. Budapest: Ludovika, 179–207.

² Például Oryx (2022): Attack On Europe: Documenting Russian Equipment Losses During The 2022 Russian Invasion Of Ukraine. *Oryx*, 2022. február 24.

³ Sandra ERWIN (2022): Maxar Eager to Launch New Satellites Amid Soaring Demand for Imagery Over Ukraine. *SPACENEWS*, 2022. április 11.

⁴ Miriam BERGER (2022): A Chernobyl Tour Group Secretly Helped Track Russia's Invasion. *The Washington Post*, 2022. augusztus 21.

⁵ A tanulmány írásának időpontja 2022 szeptembere.

legalábbis sokkal limitáltabban, mint azt sok szakértő várta volna. Erről félhivatalos úton már az orosz haderő is elkezdett panaszkodni.⁶ A másik oldalon a Nyugattól kapott védelmi ipari támogatás is sokszor korlátozottnak tűnik. Mindezen megfigyelések teljes gazdasági-társadalmi végigfejtése jóval hosszabb anyagot igényelne, azonban a legfontosabb tanulságokat megpróbálom összefoglalni ebben a tanulmányban. Ezek a következők:

- az értékláncokhoz történő hozzáférés kiemelt fontossága;
- a hadviselés változása és annak hatása a védelmi iparra;
- a polgári cégek szerepének növekedése;
- a védelmi ipari kapacitáskorlátok fennállása;
- a gazdasági túlélőképesség és reziliencia újbóli előtérbe kerülése;
- a civil társadalom általános és védelmiipar-specifikus tudásának fontossága.

Az értékláncokhoz történő hozzáférés kiemelt fontossága

Az értékláncokhoz történő hozzáférés fontosságára már régebben felhívtam a figyelmet.⁷ Napjainkban már nincsen – a polgári ágazatoktól, a gazdaság többi részétől – elkülönült védelmi ipar, hanem utóbbi a nemzetgazdaság szerves része. Amit a gazdaságunk tud (tudásban, technológiában), azt tudja a védelmi iparunk is. Ahogy nincs külön polgári és katonai félvezető, úgy nincs külön katonai mechatronika, elektrooptika stb. sem. A haditechnikai platformok egyre több polgári technológiát foglalnak magukba, így a védelmi ipari értékláncoknak egyre több polgári cég a részese. Jól mutatja ezt, hogy például a Pentagon gigabeszerezésein egyre többször jelennek meg olyan cégek, mint a Microsoft vagy az Amazon, amelyek már nemcsak kiemelt komponensbeszállítói az olyan tradicionális védelmi ipari cégeknek, mint a Lockheed Martin vagy a Raytheon Technologies, hanem első körös védelmi technológiai fejlesztőknek számítanak. Nem véletlen az sem, hogy az amerikai védelmi minisztérium már az elmúlt évtizedben felismerte, hogy a polgári cégeknél meglévő technológia bevonása a védelmi szektorba kiemelt fontosságú a nemzetbiztonság szempontjából, és ezért ezen célból meghirdette a *third offset* programot.⁸

Mindemellett a haditechnikai rendszerek egyre komplexebbé, egyre bonyolultabbá válnak. Miközben egy-egy haditechnikai eszköz is jellemzően egy nagyobb rendszer eleme, ahol a rendszer egyes elemei között akár valós idejű információ- és adatáramlás is zajlik, maga az eszköz is egyre több komponensből tevődik össze. Például napjaink legmodernebb haditechnikai platformjának, az 5. generációs F-35-ös vadászgépnek a tervezése a 80-as évek legvégén kezdődött el. A tervezés és a gyártás 9 ország kooperációjában zajlik megszámlálhatatlanul sok beszállítói cég részvételével. Ebből a komplexitásból

⁶ Ukrajna: gladiatorskie boi. *Prisp*, 2022. augusztus 4.

⁷ TAKSÁS Balázs (2017): A védelmi ipar és a katonai logisztika elfedett biztonsági kockázatai napjaink globalizált világában. *Honvédségi Szemle*, (6), 105–117.

⁸ Eric P. HILLNER (2019): The Third Offset Strategy and the Army Modernization Priorities. Center for Army Lessons Learned.

adódik az, hogy 3-4 évente mindig felbukkan egy hír, hogy újabb kínai alkatrészt⁹ vagy kínai tulajdonú céget¹⁰ találtak az ellátási láncban, s szintén ennek a következménye az, hogy amikor az orosz légvédelmi rendszer vásárlása miatt a törököket kizárták a programból, maga az amerikai védelmi ipar lobbizott azért, hogy egyelőre a török cégek maradhassanak az értékláncban, mert nagyon lassú a helyettesíthetőségük, és azonnali lecserélésük a gyártás fennakadásával járna.¹¹ Az előzőekből megérthető talán a védelemgazdasági szakemberek azon szkepticizmusa, amelyet megfogalmaznak az orosz ötödik generációs vadászgépprogrammal, a Szu-57-essel kapcsolatban. Aligha hihető, hogy miközben az amerikai gazdaságnak nemzetközi partnercégek sokaságára van szüksége az F-35-ös gyártásához, addig az 1/14-ed akkora orosz gazdaság (még ennél is rosszabb arányú kutatási-fejlesztési és innovációs potenciállal) képes lenne önmagában hasonló képességű eszköz gyártására. Nem véletlen, hogy az egész háború során – miközben napi szinten ömlenek minden *domainből* a harci cselekményekről videófelvevételek – egyetlen egy hírt publikáltak Szu-57-esek bevetéséről, amelynek hitelessége egyáltalán nem bizonyított.¹² Pedig, mivel nem sikerült az oroszoknak a teljes légtéruralmat kialakítani, egy ötödik generációs vadászgép biztosan sokat segítene a háború eldöntésében. Hiányának oka minden bizonnyal az, hogy a – 2014-es tervezett rendszeresítés ellenére – a Szu-57-es mint ötödik generációs képességekkel rendelkező repülőgép nem létezik, vagy csak mint prototípus létezik. Egy amerikai védelemgazdasági szakember azt írta nekem, hogy az ő tudomása szerint az orosz gazdaság – a háború előtt – évi 3 db SZU-35-ös legyártására volt képes. Ez a közel fél évszázados múlttal rendelkező SZU-27-es 80–90-es években továbbfejlesztett változata, amely messze áll az ötödik generációs képességektől. Ráadásul most az orosz védelmi iparnak a gazdasági szankciók által a nemzetközi értékláncokhoz történő hozzáférés korlátozása még nagyobb nehézségeket fog okozni, nemcsak a repülőgéptípus előállításában, hanem a védelmi ipar teljes spektrumában és a K+F+I tevékenységben is.

Jól mutatja ezt az a videó is, amelyet az ukrán fegyveres erők publikáltak, s amelyben egy, még a háború előtt készült orosz Orlan drónt szednek darabjaira.¹³ A drón gyártói mindamellett, hogy néha elég „*home made*” megoldásokkal operáltak, rengeteg külföldi, főleg japán alkatrészt használtak az eszköz összerakásához. Olyan fontos főkomponensek japán eredetűek, mint a motor, a kamera vagy a vezérlés. Természetesen ilyen videónál sohasem lehet tudni, hogy igazi-e, vagy megkomponált, de az orosz gazdaság általános képességeit és értékláncait ismerve a valóság nagy valószínűséggel a videóban bemutatott vagy ahhoz nagyon hasonló lehet.

Az értékláncok megnövekedett fontosságából azt a következtetést is levonhatjuk, hogy soha nem látott módon elkülönült a kutatási-fejlesztési és a gyártási tevékenység,

⁹ Lee HUDSON (2022): Pentagon Suspends F-35 Deliveries After Discovering Materials from China. *POLITICO*, 2022. július 9.

¹⁰ Deborah HAYNES (2019): F-35 Jets: Chinese-owned Company Making Parts for Top-secret UK-US Fighters. *Sky News*, 2019. június 15.

¹¹ Joe GOULD (2020): Stop Buying Turkey's F-35 parts, Lawmakers Tell DoD. *Defense News*, 2020. július 7.

¹² Bevetették az oroszok a legmodernebb, Szu-57-es lopakodó vadászbombázójukat Ukrajnában (2022). *Portfolio*, 2022. július 9.

¹³ Operator Starsky [@StarskyUA] (2022): “Unboxing” of Russian “Orlan”. *YouTube*, 2022. április 14.

olyan szempontból, hogy egészen más képességet igényel egy prototípus létrehozása, mint a megfelelő költség- és minőségkontrollal, precízen kialakított beszállítói hálózattal működő tömeggyártás megszervezése. Míg előbbi alapvetően műszaki-technikai és természettudományos ismereteket igényel, addig az utóbbihoz óriási mértékű gazdasági, menedzsment- és iparpolitikai tudás is szükséges. Amennyiben utóbbi nincsen meg, úgy hiába fogja a kreatív mérnöki gárda prototípusok sorát produkálni, a haderő mégsem lesz felszerelve modern, megbízható és az adófizetők számára elfogadható áron beszerezhető eszközökkel. A kutatás-fejlesztés és a gyártás között a hidat a termékesítés folyamata jelenti, amelynek jelentősége a fentiek következtében kiemelt fontosságúvá válik a védelmi iparban (is). Ez garantálja, hogy már eleve a tervezés se mérnökök grandiózus lázálma legyen, hanem olyan irányba induljon el ez a – már önmagában is rettentően költséges – folyamat, amelynek a végén olyan termék születik, amely megfelel a valós felhasználói igényeknek, amelynek gyártása megfelelő költségkeretek között tartható, s amely során a magas szintű minőségmenedzsment garantálható, és amelynek a beszállítói láncolata megfelelő minőségbiztosítással, megbízhatósággal, kapacitásrugalmassággal rendelkező cégekkel lefedhető a hazai gazdaságból vagy a szövetséges országokból. Látható tehát, hogy a termékesítés legalább olyan bonyolult és nehéz, mint maga a kutatás-fejlesztés.

Ezt mutatják az orosz–ukrán háború tapasztalatai is. Miközben az elmúlt évtizedben modern haditechnikai eszközök sorát mutatták be a Vörös téri parádékon, ezek jelentős részének nyomát sem látjuk a háborúban, miközben szemmel láthatólag kikonzervált, sok évtizedes korú eszközök sora vesz részt benne, amelyek műveleti képessége – mindenféle improvizált, sokszor harctéri buhera ellenére is¹⁴ – töredéke modern társaikénak. Ezért is tette félhivatalosan szóvá az orosz haderő, hogy a háború elhúzódásáért és a tervezettnél hatványozottan nagyobb veszteségekért nem a katonai vezetés inkompetenciája és az alakulatok felkészületlensége okolható, hanem az, hogy az orosz védelmi ipar nem képes az ukrán oldalon megjelenő nyugati fegyverek képességeivel paritást elérő fegyverrendszerekkel felszerelni a haderőt.¹⁵ Miközben az állításban nagy igazság van, az orosz védelmi ipar védelmében mindenképpen fel kell hoznunk azt, hogy ők is csak abból tudnak főzni, amilyük van. Mivel az orosz gazdaság teljesítménye töredéke a nyugati társadalmakénak, innovációs kapacitásának és technológiai szektorának mérete még ennél is kisebb arányaiban, menedzsmenttudásban, piacosítási képességekben és nemzetközi beszállítói kapcsolatokban óriási az elmaradása, így a védelmi ipari értékláncok lefedettsége minden bizonnyal nagyon hiányos, és számos kritikus elemet nélkülöz. Ennél fogva a védelemgazdasági szakemberek számára nem meglepő az a nehézség, amellyel az orosz hadvezetésnek szembesülnie kell a modern haditechnikai eszközök általános használatának hiányából adódóan.

¹⁴ Huszák Dániel (2022): Elképesztő gyűjtés készült az orosz haderő sufnituning járműveiről. *Portfolio*, 2022. április 7.

¹⁵ Ukrajna: gladiatorskie boi. *Prisp*, 2022. augusztus 4.

A hadviselés változása és annak hatása a védelmi iparra

A hadviselés folyamatosan változik, és a védelmi ipar állandó feladata, hogy időben megértse a változás aktuális hajtóerőit, kulcstényezőit. Ez nagyon nehéz feladat, mert a történelem szerencsésebb időszakaiban a nagyhatalmak nem folytatnak háborút, és ezért ilyen időszakokban nehéz észrevenni, hogy a technológiai fejlődés hogyan is változtatja meg a hadviselést. Márpedig a védelmi ipari kutatás-fejlesztés más ágazatokhoz képest – a rendszerek és a platformok komplexitásából adódóan – hosszadalmasabb tevékenység, így amelyik ország védelmi iparának nem sikerül elkapnia a változás trendjét, az súlyos lemaradásba kerül, és az általa kiszolgált haderő jelentős műveletiképesség-hiányokkal szembesül. Az orosz–ukrán háború egyrészt elég jó képet fest a változás trendjéről, másrészt azt is megmutatja, hogy milyen az, ha egy védelmi iparnak nem sikerül elkapnia ezt a trendet.

Az első fontos változást már említettem a bevezetőben. A technológiai fejlődés révén soha nem látott mértékű rálátása nyílik a hadviselő feleknek mind a hadművelleti színtéren, mind a mögöttes területeken zajló eseményekre. Ennek eléréséhez kulcsfontosságú szerep hárul az űriparra (például műholdak), a telekommunikációs és hírközlési szektorra, az információs technológiai szektorra és a védelmi ipar azon szegmensére, amely felderítőeszközök (például drónok) gyártásával foglalkozik. Ugyanígy a védelmi ipar feladata, hogy az előző eszközöket és rendszereket olyan, még nagyobb rendszerbe integrálja, amely a lehető leggyorsabb információáramlást és – egyre inkább gépi – adatfeldolgozást teszi lehetővé az elérhető leggyorsabb műveleti döntéshozatal érdekében. Ez utóbbi azért kiemelkedő fontosságú, mert a fentebb felsorolt ágazatok eszközeinek segítségével olyan mértékű adathalmaz jön létre a művelet során, amelynek feldolgozása már nagy kihívásokat jelent, és ebből adódóan a feldolgozási sebesség és az ebből eredő műveleti döntéshozatali sebesség és minőség a háborút döntheti el. Nem véletlen, hogy az USA hadereje már régóta kulcsfontosságú tényezőnek tekinti ezt a területet, és ezért mind a Pentagonban, mind haderőnemi szinten, mind az egyes parancsnokságokon „*chief data officer*” pozíció létrehozásáról döntöttek, és fontos lépéseket tettek abba az irányba, hogy a jövőben minden keletkező adat egy rendszerbe kerüljön, és feldolgozásuk a lehető leggyorsabban, jellemzően mesterséges intelligencia segítségével megtörténjen.¹⁶ A jelenleg zajló háborúban azt tapasztaljuk, hogy az ukrán oldal az amerikai haderő és a mögötte álló védelmi és polgári szektorok segítségével nagyobb rálátással rendelkezik a hadszíntérről. Ezt a következtetést abból vonhatjuk le, hogy a háború kezdeti szakasza után erőinek eloszlása a front(ok) különböző szakaszain általában jól lekövette az orosz hadvezetés támadási céljait. Ezzel szemben az orosz oldalon néha vakfoltok alakulnak ki. A 2022 szeptemberében a harkivi régióban lezajlott ukrán ellentámadás például szemmel láthatólag váratlanul érte az orosz erőket, ami meglepő ilyen mértékű hadszíntéri rálátás mellett. Mivel nem feltételezem, hogy olyan mértékű hibát elkövetne az orosz hadvezetés, hogy szabadon hagyja szárnyait egy jelentős mértékű ukrán összpontosítás előtt, ezért azt

¹⁶ Nathan STROUT (2020): Special Operations Command Wants to Put All Mission Data in a Single Pane of Glass. *C4ISRNet*, 2020. június 1.

a következtetést kell levonnom, hogy egyszerűen nem rendelkeztek a megfelelő minőségű információval, azaz az orosz védelmi ipari és polgári eszközök, rendszerek közel sem képesek azt az információs támogatást nyújtani, mint a másik oldalon az amerikaiak.

A történelemben ciklikus változását látjuk annak, hogy a védelemi vagy támadóképeségek fejlődnek jobban, s ebből adódóan melyik jelenti a hadműveleti és hadászati siker kulcsát. A jelenleg zajló orosz–ukrán háború eddigi fejleményei azt mutatják, hogy új ciklus kezdetén lehetünk, ahol a védelmi képességek kerülnek előtérbe.¹⁷ Az oroszoknak fél év alatt sem sikerült teljes légi fölényt kialakítaniuk Ukrajna felett, és jelentős számú páncélos eszközbeli fölényük ellenére sem sikerült egyik frontvonalon sem áttörést elérniük. Lassú előrehaladást végül masszív tüzérségi tűztámogatás segítségével értek el Luhanszk és Donbasz megyében. Az átütő siker elmaradásának okaként látni kell, hogy egy 10 millió dolláros harckocsi elpusztítható egy 175 000 dolláros Javelin vagy egy 6000 dolláros Carl Gustav rakétával. Vagy éppen egy 18 millió dolláros helikopter (plusz a jó pár millió dollárért kiképzett személyzete) elpusztítható egy 120 000 dolláros Stinger rakétával, míg egy milliárddolláros cirkáló elsüllyeszthető egy figyelemelterelő drón és egy hajó elleni rakéta segítségével.¹⁸ A védelemben használt haditechnikai eszközök fejlődése (pontosabb célvezetés és célkövetés, sokkal könnyebb hordozhatóság, könnyebb alkalmazhatóság stb.), valamint a katonai vezetés reformja¹⁹ (gyorsabb adatfeldolgozás, decentralizált, alegységszintű döntéshozatal stb.) olyan rendszerszintű változást hozott a hadművészetben, amely következtében a világ összes haderejének – élén az USA-éval – el kell gondolkoznia azon, hogy gyors, döntő csapások sorozatára épülő, támadást favorizáló katonai doktrínáját miként módosítsa a jelenlegi háború tapasztalataival.²⁰ Mind a háború tapasztalatai, mind a katonai doktrínák esetleges változásai természetesen jelentős hatással lesznek a védelmi ipar termékstruktúrájára, valamint kutatási-fejlesztési irányaira is. Hiszen miközben éppen zajlik az amerikai haderőben a vietnámi háború óta legnagyobb helikopterprogram, amely szinte a teljes flotta lecserélését irányozza elő, s folyik a tender a Bradley gyalogsági harcjármű lecserélésére is, míg a világ vezető hadiipari vállalatai új és új páncélos harcjárművekkel (köztük harckocsikkal) jelennek meg a védelmi ipari expókon, addig pont ezen eszközök teljesítménye a háborúban – különösen életciklusköltségükhöz viszonyítva – meglehetősen gyenge. Természetesen azok az eszközök, amelyek most prototípusként megjelennek, az elmúlt évtized K+F+I tevékenységének eredményei, amely az elmúlt évtized(ek) katonai doktrínáin és háborús tapasztalatain alapul. Azonban kérdés, hogy egyes országok védelmi ipara most mennyire gyorsan képes adaptálni ennek a háborúnak a tapasztalatait. Itt talán a Távol-Kelet lehet kicsit hátrányban, lévén ezen országok (Kína, Dél-Korea, Japán) nem

¹⁷ David JOHNSON (2022): Ending the Ideology of The Offense, Part I. *War on the Rocks*, 2022. augusztus 15.

¹⁸ Brandon TSENG (2022): Tanks and Helos: How Ukraine Can Inform Military Modernization Efforts. *Defense News*, 2022. március 31.

¹⁹ Xander LANDEN (2022): Russian Adherence to Soviet Doctrine ‘Demoralizing’ to Troops. *Newsweek*, 2022. szeptember 12.

²⁰ David JOHNSON (2022): Ending the Ideology of The Offense, Part II. *War on the Rocks*, 2022. augusztus 25.; Maximilian K. BREMER – Kelly A. GRIECO (2022): In Denial About Denial: Why Ukraine’s Air Success Should Worry the West. *War on the Rocks*, 2022. június 15.

érintettek közvetlenül a háborúban, és így nem szereznek első kézből információkat, ellentétben az orosz és a nyugati – különösen az amerikai – védelmi iparral.

Az előző bekezdésben kifejtett változásból adódik az, hogy bár *multi-domain* műveletekről beszélhetünk, a háborúban eddig nagyon korlátozott szerepet játszik mind a légi erő, mind a haditengerészet. És bár a kibertérben is folyamatosan dúl a harc, úgy látszik, ott is a védelmi képességek fejlődése volt a gyorsabb az elmúlt időszakban.²¹ Ebből adódóan a szárazföldi haderőnem (beleértve a különleges műveleti, illetve rakétatüzérszervezeteket is) szerepe a háború lefolyásában a vártnál nagyobb.²² Egyszerűen a légierő és a haditengerészet eszközeinek sebezhetősége – több tényezőtől kifolyólag – túlságosan megnőtt – különösen az eszköz és a kezelőszemélyzet pótlásának határkölségét tekintve – ahhoz, hogy a parancsnokok ezen haderőnemek használatára jelentős mértékben támaszkodni tudjanak.²³ Ez a védelmi ipari kutatásra-fejlesztésre is hatással van. Egyrésztől még inkább előtérbe kerül ezen haderőnemeknél a hagyományos eszközök kisebb, olcsóbb és ember nélküli variánsokkal történő helyettesíthetőségének kérdése, másrésztől valószínűleg a védelmi ipari kutatási-fejlesztési költségvetésen belül átrendeződés történik majd a szárazföldi haderőnem irányába, amely a K+F+I területen eddig sokszor mostohagyermeknek számított. (Gondoljunk csak bele, hogy mekkora egy ötödik generációs vadászgép vagy egy új anyahajó, esetleg egy új tengeralattjáró-típus fejlesztésének költsége egy páncélozott harcjármű fejlesztéséhez képest! Érdemes azon is elfilozofálni, hogy vajon mennyire alakult volna másképpen az orosz–ukrán háború, ha az orosz katonai vezetés nem a sikertelen Szu-57-es programba, a tengeralattjáró-modernizációs programba vagy a hiperszonikusrakéta-fejlesztési programba öli a pénzt az elmúlt évtizedekben, hanem a szárazföldi haderőnem fegyvernemeinek teljes körű modernizálásába!)

A háború szintén felhívja a figyelmet a precíziós tűzérségi eszközök alkalmazásának előnyeire. A tapasztalatok azt mutatják, hogy egy-egy ilyen eszközzel elkövetett támadás sokkal hatékonyabb tud lenni, mint akár tömeges csapás mérése hagyományos eszközökkel. Különösen igaz ez sűrűn lakott területen található célpontok esetében, ahol a hagyományos tűzérségi eszközök jóval nagyobb pontatlansága olyan romboláshoz vezet, amely súlyos nemzetközi felháborodást képes előidézni. (Márpedig, ahogy a tanulmány elején szó volt róla, a kommunikáció és a nemzetközi közvélemény szerepe kiemelt fontosságú a modern háborúban.) Ez a tapasztalat a precíziós eszközök és lövedékek használata kapcsán az adófizetőknek fog fájni világszerte, mert ezek gyártása sokszorosába kerül hagyományos társaikénak.

Nagyon fontos tapasztalat, hogy a rendelkezésre álló információs technológiai eszközök kreatív használata, kombinálva a parancsnoki döntéshozatal decentralizációjával, nagy döntéshozatali sebességelőnyt jelent, amely a katonai műveletek során mindig

²¹ SZEDLÁK Ádám (2022): Az ukránok létrehozták a tűzvezetés Uberjét – interjú. *Forbes*, 2022. szeptember 10.

²² David JOHNSON (2022): The Army Risks Reasoning Backwards in Analyzing Ukraine. *War on the Rocks*, 2022. június 14.

²³ Phillips Payson O'BRIEN – Edward STRINGER (2022): The Overlooked Reason Russia's Invasion Is Floundering. *The Atlantic*, 2022. május 9.

kiemelt fontosságú. Az eddigi tapasztalatok alapján az orosz haderő a vártnál sokkal rosszabb szereplését jelentős mértékben ennek jóval lassabb felismerése és adaptálása okozza, az, hogy a merev orosz katonai rendszer jóval inkább ragaszkodik a hagyományos műveleti vezetési modellhez.²⁴

Utolsó háborús tapasztalatként meg kell említeni az örökzöld témát: a logisztikai képességek kiemelkedő fontosságát. Ez az, amiről a történelem során már annyit beszélt szakemberek és hadvezérek sora, mégis a hadművészek, a katonai stratégiák és a haderőtervezők rendszeresen elfelejtik figyelembe venni. Így van ez Magyarországon is, ahol például magas rendfokozatú katonai vezetők kérdőjelezik meg, hogy miért kell a Hadtudományi Doktori Iskolában katonai logisztikát tanulni. Valószínűleg ez történt Oroszországban is, ahol már az invázió első napjaiban összeomlott a logisztikai támogatási lánc, s a logisztikai erők nem voltak képesek üzemanyaggal, lőszerrel, élelmiszerrel stb. ellátni a támadó műveletet folytató alakulatokat. Ezért már az első napok után hosszú vasúti szállítmányokkal kellett a hátszorból utánpótlásként polgári logisztikai járműveket a frontra küldeni a kapacitások megnövelése érdekében.²⁵ Pedig a logisztikai képességek megléte és megvédése fontosabbá vált a háború megvívásának sikerében, mint valaha.²⁶ Ezt mind a katonai parancsnokoknak, mind a védelmi ipari vezetőknek meg kell érteniük, különben feleslegesen fejlesztenek és építenek robosztus erőket a harc megvívásához, azok béna kacsaként fognak csak működni a háborúban. Hiszen a mostani tapasztalatok is azt mutatják, hogy a logisztika működésképtelenné tétele szinte elsődleges célja az ellenség csapásainak. (Elég csak belegondolni a háború kezdetén Kijevtől északra álló hatalmas orosz katonai konvoj ellátásának akadályozásába, a Hosztomel repülőtérért vívott csata jelentőségébe, a drónok használatába üzemanyagszállító konvojok támadására, a HIMARS-ok, valamint az orosz rakétatüzérség használatába az orosz, illetve ukrán hátszorból lévő lőszerraktárak, ellátási pontok, javítóüzemek megsemmisítésére, a Dnyeper folyón lévő hidak, majd pontonhidak folyamatos rombolásába stb.)

A polgári cégek szerepének növekedése

Szintén fontos – de nem új – változás az, hogy a polgári cégek szerepe mind a védelmi ipari gyártásban és szolgáltatásban, mind közvetlenül a hadviselésben megnövekszik.

A védelmi iparban e szerep már hosszabb ideje nő, aminek a hátterében az áll, hogy a 20. század végére az életszínvonal emelkedésével olyan hatalmas vásárlóerő alakult ki a világ országaiban, amely azt okozta, hogy a háztartások ma már sokkal nagyobb piacot jelentenek, mint a védelmi szféra. Azaz sokkal nagyobb profitot lehet termelni, *ergo* sokkal inkább érdemes tőkét fektetni polgári termékek gyártásával foglalkozó cégekbe (különös tekintettel a nagy profitabilitású *high-tech* ágakban). Ez természete-

²⁴ SZEDLÁK 2022.

²⁵ Úgy néz ki, az oroszok már civil járművekkel próbálják pótolni veszteségeiket (2022). *Portfolio*, 2022. március 7.

²⁶ Andrew EVERSDEN (2022): US Army Secretary: 5 Lessons from the Ukraine Conflict. *Breaking Defense*, 2022. június 1.

sen a kutatásban-fejlesztésben is megjelenik. Jól mutatja ezt az, hogy amíg az 1960-as években a világ kutatási-fejlesztési kiadásainak 36%-át a Pentagon finanszírozta, addig 2020-ra ez az érték 3,6%-ra, azaz az előző egy tizedére csökkent le.²⁷ Az elmúlt évtizedben az 5 legnagyobb technológiai cég (Google, Amazon, Apple stb.) évente 10-szer akkora összeget költött kutatásra-fejlesztésre, mint a legnagyobb hagyományos hadiipari cégek (Lockheed Martin, Raytheon Technologies, Boeing stb.).²⁸ Ennek következtében a polgári cégek által kifejlesztett megoldások jelentik egyre inkább az adott kor csúcstechnológiáját, így természetszerű, hogy ezek használata egyre jobban felbukkan a védelmi szektorban.²⁹ És a technológiával együtt maguk a cégek is egyre inkább megjelennek, hol a hagyományos hadiipari cégek ellátási láncában, hol rendszerfejlesztőként közvetlen védelmi minisztériumi beszállítóként.³⁰

A háború egyik újdonsága, hogy a korábbinál többször jelent meg a hírekben polgári cégek neve a hadviseléssel közvetlen összefüggésben. Ennek oka a háborús *domainek* kiterjedése a kibertérre és az űrre, ahol jellemzően magántulajdonban lévő polgári profilú cégek fűjják a technológiai fejlődés passzátszelét. Így amikor műholdas felderítésről vagy telekommunikációs adatátvitelről, kibervédelemről vagy felhőalapú adattárolásról és adatvédelemről van szó, nem meglepő, hogy a mindennapi életben jól ismert cég- és márkanevek (Stalink, Maxar, Amazon, Microsoft stb.) vagy éppen cégtulajdonos hírességek (Elon Musk) bukkannak fel a hírekben. Hogy itt mennyire nem elhanyagolható vagy kiegészítő képességekről van szó, ahhoz érdemes olyanokba belegondolni, mint hogy az ukrán katonai vezetés hadműveleti vagy éppen harcászati döntéshozatali folyamata onnan indul, hogy egy (vagy több) amerikai cég minden korábbinál részletesebb képet készít (és azt jó eséllyel mesterséges intelligenciával megtámogatott feldolgozású) kereskedelmi műholdjai mit látnak a hadszíntéren, és milyen információt továbbítanak a Pentagon felé, vagy hogy az ukrán lakosság egy amerikai magáncég műholdas kommunikációs rendszerén keresztül milyen videókat töltött fel pár perccel korábban a megadott Telegram-oldalra. Vagy bele lehet gondolni abba, hogy az ukrán államigazgatás és azon belül a védelmi igazgatás egyáltalán azért működőképes még, mert egy amerikai felhőszolgáltató képes olyan mértékű és biztonságú tárhelyet biztosítani, ahol az összes adat elmenthető és hozzáférhető.

A fentiekből azt a következtetést is levonhatjuk, hogy az orosz haderő méretbéli és technikai eszközbéli hatalmas előnyét jelentős részben a nyugati polgári ágak orosz társaikkal szembeni technológiai fölénye ellensúlyozza. Ez olyan megállapítás, amelyet még talán egyetlen korábbi háború kapcsán sem tehetünk meg, és amely még jobban aláhúzza annak a védelemgazdasági törvényszerűségnek az igazságát, miszerint a társadalom és a gazdaság általános versenyképessége döntően határozza meg a – védelmi iparon

²⁷ Tai Ming CHEUNG – Thomas G. MAHNKEN (2022): *The Grand Race for Techno-Security Leadership. War on the Rocks*, 2022. augusztus 31.

²⁸ CHEUNG–MAHNKEN 2022.

²⁹ Loren B. THOMSON (2020): *Why U.S. National Security Requires a Robust, Innovative Technology Sector*. Lexington Institute.

³⁰ TAKSÁS Balázs (2021): Újjászülető védelmi ipar. *Haditechnika*, 55(1), 57–61.

keresztül – egy ország katonai erejét.³¹ Erre a változásra reagálni kezdtek a hagyományos amerikai hadiipari cégek is (például Lockheed Martin, Raytheon Technologies), amelyek akvizíciókba kezdtek mind az űriparban, mind az információs technológiai szektorban, azért, hogy további képességeket szerezzenek ezen a területen is, és rendszerintegrátor-ként tudjanak megjelenni a Pentagon beszerzésein. Ez a folyamat nem most kezdődött el, de a háború felgyorsította, és minden bizonnyal a védelmi ipar egyik hajtóereje lesz a közeljövőben. Kérdéses a kínai helyzet, ahol ugyan nagy az összefonódás a technológiai cégek (Huawei, ZTE, Alibaba stb.) és az állami hadiipari mogulok között,³² azonban a technológiai szektor annyival innovatívabb és annyival eltérőbb szervezeti kultúrával rendelkezik, hogy nehéz elképzelni, hogy akvizíciók lévén beolvadnának az állami szektorba, még ha tervutasításos gazdaságban ennek a jogi kivitelezése sokkal könnyebb is.

A nemzetgazdasági versenyképesség és a védelmi ipari képességek közötti szoros kapcsolattal magyarázható az olyan országok egyre nagyobb szerepe is a globális védelmi piacon, mint a brutálisan erős és innovatív polgári szektorral rendelkező Dél-Korea. Nem véletlen, hogy úgy néz ki, hogy Európa történetének egyik legnagyobb átfegyverzési üzletét, a – jelentős részben az orosz agresszió által indukált – lengyel haderőfejlesztési programot kvázi a koreai védelmi ipar „viszi haza”.³³

Védelmi ipari kapacitáskorlátok

Az orosz–ukrán háború arra a már korábban is pedzegetett tényre is rávilágított, miszerint egy hagyományos eszközökkel folytatott – nem aszimmetrikus – konfliktus elhúzódása megoldhatatlan feladat elé állítaná a hadviselő feleket, annál az egyszerű ténynél fogva, hogy a hadiipar nem lenne képes kiszolgálni a háborús igényeket. Bár a hadiiparral szemben támasztott egyik alapvető feltétel az ellátásbiztonság, miszerint képesnek kell lennie kiszolgálnia a megrendelő haderő igényeit mind békeidőben, mind krízishelyzet (akár háború) idején,³⁴ a mostani konfliktusban is több jel mutat abba az irányba, hogy a globális hadiipar jelenleg nem képes ezt a feladatát betölteni.

Az egyik ilyen jel, hogy egyre inkább csökken a Nyugatról Ukrajnába áramló fegyverzet mennyisége, különösen a komplexebb platformok esetében. A háború legelső szakaszában jellemzően a volt Varsói Szerződés-tagok látták el az ukrán haderőt egykori döntően szovjet gyártmányú eszközökkel, lévén ezek használatára nem kellett átképezni a katonákat, így az eszközök gyorsan hadrendbe kerülhettek. Ezekért az adományokért cserébe a Nyugat – jellemzően az USA – modernebb eszközök – vélhetően jutányos – eladását ígérte meg a kelet-közép-európai országoknak. Ezzel igazából mindenki

³¹ TAKSÁS Balázs (2020): A hadiipar fejlesztésének feltételei és működésének követelményei. *Honvédségi Szemle*, 148(2), 125–135.

³² Tai Ming CHEUNG (2009): *Fortifying China–The Struggle to Build a Modern Defense Economy*. London: Cornell University Press.

³³ HUSZÁK Dániel (2022): Nem várt helyről jön a segítség: Európa legerősebb haderejét építhetik fel Oroszország nyugati határán. *Portfolio*, 2022. szeptember 3.

³⁴ TAKSÁS Balázs (2019): Trinity of Defense Industry. *Economic and Management*, (1), 72–76.

jól járt. Ukrajna gyorsan fegyverekhez juthatott, a kelet-közép-európai országok könnyedén megszabadulhattak a sokszor már inkurenciának számító eszközöktől, és kvázi becserélhették azokat újra, míg a nyugati védelmi ipar új megrendelésekhez juthatott. A probléma csak ott van, hogy a nyugati védelmi ipar kapacitásai már így is évekre előre le vannak kötve ezen új megrendelések nélkül is. Jól mutatja ezt, hogy miután a következő lépésként gyorsan elkezdtek nyugati fegyverek is Ukrajnába áramolni, hamar elkezdett mennyiségük csökkenni (komplex platformokból pedig eleve kevés db érkezett), mert a küldő országok eszközállománya a védelmi képességek szempontjából kritikus szint közelébe csökkent, s az eszközök pótlása meglehetősen hosszadalmasnak ígérkezik.

A problémák hátterében alapvetően kellemes ok húzódik, miszerint a bipoláris világrend megszűnése után a konvencionális háborúk száma és mérete jelentősen lecsökkent, a 2001. szeptember 11-ike után jelentkező aszimmetrikus háborúk pedig jóval limitáltabb skálájú és mennyiségű fegyverrendszer bevetését igényelték. Így az „utolsó vacsora”³⁵ után nemcsak az USA-ban, hanem világszerte is a hagyományos védelmi ipar erős konszolidációja zajlott le, ami globálisan csökkentette a gyártási – és persze ezzel együtt a kutatási-fejlesztési – kapacitásokat is.³⁶ A béke kellemes gond volt, most viszont, hogy a nagyhatalmak közötti háborús konfliktus bekövetkezésének valószínűsége megnövekedett, a védelmi ipar még jó ideig nem lesz képes kielégíteni a megnövekedett igényeket. Ennek az az oka, hogy a védelmi eszközök piaca nagyon komplex gazdasági terület, amelyet minden más ágazati piacnál magasabb belépési korlátok jellemeznek.³⁷ Ebből adódóan új szereplők nem tudnak csak úgy a piacra lépni, és a kínálatot bővíteni. A bent lévő szereplőket pedig jellemzően az erőforrásoldalon, illetve a beszállítói láncban lévő korlátok akadályozzák meg a termelés gyors felfuttatásában.³⁸ Különösen problémás a helyzet az európai védelmi iparban, aminek hátterében két ok áll: a védelmi kiadások minden más földrészénél nagyobb mértékű csökkenése a hidegháború – és különösen a 2008-as válság – utáni időszakban,³⁹ illetve a nemzeti érdekek miatti erőteljes fragmentálódás.⁴⁰ A helyzet súlyosságának érzékeléséhez, elég csak belegondolni abba, hogy mikorra kapja majd meg a német gyártóktól hazánk az évekkel ezelőtt megrendelt, nem túl jelentős darabszámú haditechnikai eszközt. Én úgy vélem, hogy ez a kapacitáskorlát is szerepet játszott abban (az egyre inkább megjelenő technológiai lemaradás mellett), hogy a lengyelek nem európai, hanem dél-koreai eszközöket választottak haderejük átfegyverzésére.

Súlyos kapacitásproblémákat láthatunk az orosz oldalon is. Ahogy a 3. fejezetben írtam, egyes orosz haditechnikai eszközök harctéri hiányáról valószínűleg a nemzetközi értékláncokhoz történő hozzáférés problémája, valamint az orosz gazdaság elégtelen technológiai színvonala (például a beszállítók hiánya) tehet. Azonban más eszközök-

³⁵ John MINTZ (1997): How A Dinner Led To A Feeding Frenzy. *The Washington Post*, 1997. július 4.

³⁶ Jacques S. GANSLER (2011): *Democracy's Arsenal: Creating a Twenty-First-Century Defense Industry*. [H. n.]: The MIT Press.

³⁷ TAKSÁS Balázs – HEGEDŰS Ernő (2022): A magyar védelmi ipar jövőképe. *Köz-gazdaság*, 17(1), 9–26.

³⁸ TAKSÁS 2020.

³⁹ NATO (2016): *Defense Expenditures of NATO countries*. PR(2016)011. 2016. január 26.

⁴⁰ Mitja KLECZKA – Caroline BUTS – Marc JEGERS (2020): Addressing the ‘headwinds’ faced by the European arms industry *Defense & Security Analysis*, 36(2), 129–160.

nél minden bizonnyal a gyártási kapacitási korlátok okozhatják a nagyobb számban való bevetés hiányát. Ilyenek lehetnek a precíziós lövedékek, amelyek alkalmazásával az oroszok a háború kezdeti szakaszában nagy sikereket értek el az ellenség erőinek, katonai infrastruktúrájának, kritikus ipari létesítményeinek rombolásában. Azonban ezen eszközök használata szemmel láthatólag mennyiségileg is csökkent, amit valószínűleg az alacsony készletszint és a lassú gyártási utánpótlás okozhat. Ezért került előtérbe a jóval kevésbé pontos hagyományos tűzérségi eszközök alkalmazása, illetve az olyan extrém – szintén nem túl hatékony – megoldások is, mint amikor hajó elleni rakétákat használtak szárazföldi célpontok megsemmisítésére. Plusz úgy tűnik, hogy Oroszország Irántól és Észak-Koreától is vásárol fegyvereket és hadianyagot, ami szintén a fenti problémára mutathat rá. Arra, hogy a modernebb eszközökből és hadianyagokból miért nem sikerült jelentősebb mennyiséget felhalmozni a konfliktus előtt – miközben a régi eszközök magas hadrafoghatóságát tekintve szinte bizonyosan hosszabb ideje készültek egy potenciális háború megvívására – csak két válasz lehetséges: pénzhiány és gyártási kapacitás-hiány. Mivel Oroszországban az elmúlt közel másfél évtizedben szinte semmi sem volt drága a haderő fejlesztését illetően, és a fegyveres erők prioritásokat élveztek más állami területekkel szemben is, ezért én a magam részéről inkább utóbbit tartom a valódi oknak.

A kapacitáskorlátok észlelése természetesen nem az orosz–ukrán háborúval jelent meg. A világ legnagyobb védelmi iparában már fél évtizeddel ezelőtt komoly számítások kezdődtek, amelyek azt mutatták ki, hogy a kapacitások csak békeidőszaki ellátásra tervezettek, háborús tömegtermelésre nem elégségesek.⁴¹ A szimulációk szerint intenzív háború esetén még az USA hadereje is 6 hónap alatt kifogyna modern fegyverkészletének jelentős részéből, és jóval régebbi technikát kellene újra hadrendbe állítania (pont, mint ahogy az oroszok is teszik a most zajló háborúban), plusz jelentős importra is szorulna, mivel a védelmi ipari kapacitások egyáltalán nem lennének elegendőek a háborús veszteség ellensúlyozására.⁴² Az elemzések során az is kiderült, hogy olyan is előfordult, hogy a különböző haderőnemek a háborús időszakban megnövekvő hadianyagfogyásuk pótlását ugyanarra az egy gyártókapacitásra tervezték rá. A problémát részben a rendszerintegrátor nagy védelmi ipari vállalatok alacsony, békeidőszakra tervezett gyártókapacitása okozza, hiszen minek tartanának fenn ki nem használt kapacitásokat, ha azt nem finanszírozza meg számukra az állam. A hiány másik oka pedig az ellátási láncban lévő szűk keresztmetszetek (illetve külföldi függőség) megléte egyes beszállítói szinteken, amelyek lehetetlenné teszik a gyártási kapacitás növelését.

A fentebb vázolt globális kapacitáshiány hátterének és lehetséges megoldásainak vizsgálata önmagában ennél hosszabb tanulmányt jelentene, ezért összefoglalóan csak annyit írnék ide, a fejezet végére, hogy amelyik hatalom hamarabb lesz képes a gyártási kapacitásokat felfuttatni, az jelentős hadászati és stratégiai előnyre tehet szert, maga felé billentve a globális erőegyensúlyt. Legjobb esélye erre talán a legnagyobb pol-

⁴¹ Mark CANCIAN (2017): Long Wars and Industrial Mobilization: It Won't Be World War II Again. *War on the Rocks*, 2017. augusztus 8.

⁴² Julie C. KELLY – Daniel E. LAGO – James S. THOMASON (2020): Strengthening Industrial Base Decision-Making for Precision-Guided Munitions. *War on the Rocks*, 2020. augusztus 11.

gári gyártási kapacitásokkal rendelkező távol-keleti térségnek van, különös tekintettel Kínára. Azonban jó eséllyel feltételezhetjük, hogy a hadviselés 4. fejezetben leírt változása, amely a védelmi eszközök pusztító erejét jelentősen megnövelte, új számítások és szimulációk elvégzésére kényszeríti a tervezőket, ugyanis az orosz–ukrán háborúban mind a hadianyag-felhasználás, mind a haditechnikaeszköz-veszteségek napi mértéke magasabb lehet, mint amennyivel korábban kalkuláltak. Ezek az új számítások még nagyobb pótlási igényt és még jelentősebb védelmi ipari kapacitáshiányt mutathatnak ki.

A gazdasági túlélőképesség és a reziliencia újra előtérbe kerülése

A háború legelső szakaszában az orosz erők specifikusan – és a még rendelkezésre álló precíziós lőszerrel – az ukrán katonai és vezetési (hírközlési) létesítményeket támadták. A villámháborús tervek kudarca után azonban általánossá vált részükről az ország gazdaságának és iparának megbénítása a kiemelt fontosságú létesítmények (olajfinomítók, erőművek, legfontosabb ipari üzemek, védelmi ipari gyártó- és javítókapacitások stb.) elleni támadások kivitelezésével. A szeptemberi ukrán ellentámadásra pedig az ország keleti részén a polgári kritikus infrastruktúra (energiaátviteli és egyéb közműrendszerek) elleni csapásokkal válaszoltak.

Mindezen események újra előtérbe helyezték a gazdasági túlélőképesség kérdését, amely a hidegháborús időszakban fontos szerepet játszott az országvédelem tervezésekor. A gazdasági ellenálló és túlélőképességnek olyan fontosabb elemei vannak, mint a gazdaság működése és a lakosság ellátása szempontjából kiemelt fontosságú ellátási láncok diverzifikációjának növelése, az ország energetikai rendszerének minél diverzifikáltabb csatlakozása a szomszédos országok hálózataihoz, illetve a védelmi ipari kapacitások minél nagyobb fokú széttelapítása.⁴³

Ezen a területen az orosz–ukrán háború olyan leckéket kínál nekünk, mint hogy mennyire fontos az ukrán gazdaság – és ezen keresztül a haderő – működőképességének fenntartása szempontjából a nyugati szomszédjaitól beáramló üzemanyag, illetve mennyire megbillentette Ukrajna külgazdasági egyensúlyát (azaz megnövelte a fizetési mérleg hiányát) az, hogy amellet, hogy az exportban fontos szerepet betöltő (nehéz) ipari létesítményei elpusztultak, gabonatermékeit sem tudja eljuttatni vevőikhez az oroszok tengeri blokádja és az európai uniós országok elégtelen vasúti gördülőállománya és átrakodókapacitása miatt.⁴⁴

Szintén fontos tapasztalat, hogy bár Oroszország már a háború elején megpróbálta teljesen lerombolni az ukrán védelmi ipari létesítményeket, valamilyen szinten – valószínűleg az időben megtörtént széttelapítás révén – sikerült képességeket megőrizni, hiszen a haditechnikai eszközök kisebb-közepesebb javítására továbbra is képesnek tűnik az ukrán gazdaság. (Persze jó eséllyel ebben is támaszkodhat európai uniós szomszédjainak kapacitásaira.)

⁴³ TAKSÁS Balázs (2013): *Gazdasági biztonsági kihívások napjaink globalizált világában*. PhD-értekezés. Budapest: Nemzeti Közszolgálati Egyetem, 72–77.

⁴⁴ Ukrajna és az európai uniós országok határán a vasúti nyomtáv megváltozik.

Nagyon fontos tanulság, hogy amikor a kritikus képességek széttelepítéséről beszélünk, akkor ma már elengedhetetlen az államigazgatás és a katonai vezetés működését biztosító szerverekre és adatokra is gondolni. Az adatok felhőbe történő migrálásáról már volt a korábbi fejezetekben szó, azonban az ukránok vélhetően (hivatalos hír érhetően nincsen róla) követhették az észtek által kitaposott utat,⁴⁵ amely szerint kritikus fontosságú szervereiket biztonságosnak vélt országokban lévő nagykövetségeikre helyezték ki. Így azok jogilag az ország területén maradtak, azonban mégis földrajzilag távol az orosz csapásoktól. A széttelepítésnek ez az aspektusa e modern háború egyik nagy és fontos újításának tekinthető.

A társadalom általános és védelmiipar-specifikus tudásának fontossága

A széttelepítés fontossága mellett még egy olyan tényezőt hozott a felszínre az orosz–ukrán háború, amelyről a hidegháború vége óta keveset beszéltünk. Ez a társadalom általános tudásszintjének kérdése, különösen műszaki és katonai műszaki területeken, valamint ennek kapcsolata az ország katonai biztonságával.

Már az iraki polgárháborúban láthattuk, hogy a társadalom műszaki és specifikus védelmi ipari tudása milyen mértékben képes támogatni az országvédelmet.⁴⁶ S bár az ISIS jelentősen támaszkodott erre a tudásra, mégis kevesebb figyelmet kapott mindez a polgárháború káoszának árnyékában. Azonban a jelenleg zajló orosz–ukrán háború felvételei és eseményei jól rávilágítanak arra, hogy a strukturált ipari képességek mellett milyen magas mértékben támaszkodik mindkét oldal a harcoló katonák találékonyságára, műszaki megoldásaira, egyéni innovációira. Lehet itt említeni a páncéltörő rakéták vagy drónok ellen kitalált improvizált védelmi megoldásokat, a különböző nemzetek eszközeiből összetákoltt platformokat, a polgári navigációs eszköz segítségével szovjet gyártmányú repülőgépről amerikai rakétát indító pilóta(ka)t vagy éppen azokat a kreatív megoldásokat, amelyekkel hibás vagy találatot kapott járműveket sikerül újra hadba állítani. Amennyiben a felek csak saját ipari hátterükre támaszkodnának, aligha lennének képesek ennyi eszközt a fronton tartani, és ilyen hatékony csapásokat kivitelezni, vagy éppen ilyen hatékonyan védekezni az ellenség csapásaival szemben. Különösen igaz lehet ez az ukrán oldal esetében, ahol a műszaki hátteret szolgáltató polgári és védelmi ipari bázist nagyrészt vagy teljesen mértékben lerombolta Oroszország. Egyértelmű tehát, hogy a katonai képességek fenntartásában fontos szerepe van a harcoló katonák egyéni találékonyságának és műszaki képességeinek. Különösen, ha figyelembe vesszük a 6. fejezetben kifejtett védelmi ipari kapacitáskorlátokat, amelyek rámutattak arra, hogy a nemzeti védelmi ipari bázisok nem lennének képesek egy esetleges háború esetén a kieső eszközállományt pótolni.

Azonban nemcsak a fronton jut fontos szerep a társadalom általános műszaki képességének, hanem a hátszágban is. Ugyanis itt e képességek segítségével tudja tompítani

⁴⁵ Data Embassy [é. n.]. *E-Estonia*.

⁴⁶ Conflict Armament Research (2016): *Standardisation and quality control in islamic state's military production*. London: Conflict Armament Research Ltd.

a lakosság az ellenség csapásai okozta pusztítás mértékét, legyen szó a mindennapi mikrokörnyezet működésének újraindításáról (például villanyvezetékek javítása) vagy a kritikus fontosságú infrastrukturális rendszerek és ipari, szolgáltatóüzemek működésének fenntartásáról.

Hogy milyen tényezők befolyásolják azt, hogy egy társadalom miért és mennyire rendelkezik a fentebb vázolt képességekkel, az megint csak önálló tudományos kutatás témája lehet. Az azonban biztosan kijelenthető, hogy a védelmi iparban szerzett jártasság nagymértékben hozzájárul ehhez. Azaz minél többen dolgoznak vagy dolgoztak valaha a védelmi iparban, annál többen képesek esetleges háború esetén a kritikus fontosságú katonai eszközöket és rendszereket karbantartani, javítani, illetve egyes alkatrészek hozzáférhetetlensége esetén improvizatív megoldásokat találni, még a termelőeszközök jelentősebb mértékű pusztulása esetén is. Ennek az összefüggésnek a felismerése új, eddig nem hangoztatott érvet hoz fel a jelenleg is zajló magyar védelmi ipari fejlesztési stratégia támogatására.

Összefoglalás

Nem tudjuk, mikor és hogyan ér majd véget ez a háború (ha egyáltalán hivatalosan valaha is véget ér), azonban a tapasztalatok feldolgozása már most rengeteg értékes tudást biztosíthat számunkra nemcsak katonai, hanem védelmi ipari szempontból is. Ebben a tanulmányban a háború első felévének folyamatait és hatásait összegeztem utóbbi aspektusból vizsgálva, és megpróbáltam arra választ keresni, hogy a védelmi ipar strukturális működéséből adódóan a háború hatására milyen új hajtóerők és trendek alakulhatnak ki. Ezek közül az alábbi legfontosabbakat fejtettem ki az írásban.

A globális politikai környezet egyre hidegebbé válásával, amely a jelenleg zajló háborútól függetlenül is egyre inkább hatással van a nemzetközi gazdasági kapcsolatokra,⁴⁷ a védelmi iparnak az értékláncokhoz történő hozzáférése egyre kritikusabb fontosságú tényezővé vált. Ez azt is jelenti, hogy a nemzetek, illetve szövetségi rendszerek gazdasági ereje – a védelmi ipar képességein keresztül – a korábbinál is sokkal nagyobb mértékben fogja meghatározni a katonai potenciált. Ennek az is az oka, hogy a technológiai fejlődés új hajtóerőinek, valamint a hadviselés új *domainjeinek* korábbinál intenzívebb használata következtében a polgári cégek szerepe már nemcsak a védelmi ipari innovációkban, illetve értékláncokban nő meg, hanem közvetlenül a hadviselésben is. Ebből adódóan egyik oldalról egyre több olyan akvizíciót láthatunk majd, ahol hagyományos hadiipari cégek a szektoron kívül vásárolnak fel polgári cégeket, másik oldalról pedig egyre több, eredetileg polgári profilú cég (különösen a technológiai szektorból) fog megjelenni az egyre nagyobb üzletet jelentő katonai beszerzéseken.

Fontos megfigyelés lehet, hogy a hadviselésben bekövetkező változások, mint például a védelmi fegyverek, valamint a hadszíntéri rálátás robbanásszerű fejlődése, a háborúk

⁴⁷ Christian KRAEMER (2022): Germany Drawing Up New China Trade Policy, Vows ‘No More Naivety’. *Reuters*, 2022. szeptember 13.

általános elhúzódasát jelenthetik, amelyre mind a katonai doktrínának, mind a védelmi iparnak reagálnia kell. Utóbbi esetében még hangsúlyosabbá válhat a kisebb, könnyebben cserélhető, ember nélküli eszközök trendje, előtérbe kerülhet a kutatási-fejlesztési programokon belül a szárazföldi haderőnem eszközparkjának fejlesztése, illetve prioritásként jelentkezhet a logisztikai erők képességeinek és védelmének növelése is. A borzalmasan magas K+F költségek miatt a sikeres termékfejlesztésben egyre nagyobb szerepet kell hogy kapjon a termékesítés folyamata, amely a kutatási-fejlesztési tevékenységet köti össze a sorozatgyártással és a vevői igényekkel. Ebből adódóan a műszaki szakemberek mellett a gazdasági szakemberek szerepe is meg fog nőni a védelmi ipari innovációban.

Azonban a háború arra is pontosan rámutatott, hogy a globális védelmi ipar – a korábbi hosszan tartó békeidőszakból következően – nagyon súlyos kapacitásproblémákkal küzd mind a kutatás-fejlesztés, mind a gyártás területén. Így nemhogy az előző bekezdésben leírt új elvárásoknak nem tud megfelelni, de ma már az is jól látható, hogy még a világ legerősebb hadseregei is súlyos hadianyag- és haditechnikaeszköz-ellátási problémákkal küzdenének nagyhatalmak által vívott háború esetén. Ráadásul a védelmi iparban a kapacitások felfuttatása nagyon lassú a rettentően komplex platformok, termékstruktúra és a nagyon magas piaci belépési korlátok miatt. Ez a helyzet új védelmi ipari versenyt indíthat el a világon, amely jelentősen átrendezheti a szereplők helyzetét.

Végül pedig az orosz–ukrán háború olyan, a hidegháború elmúltával elfeledett képességek és tevékenységek fontosságát hozta újra a felszínre, mint a gazdasági túlélőképesség kérdése, valamint a társadalom általános műszaki, illetve specifikus katonai műszaki tudásának szintje. Újra fontossá vált az ellátási láncok diverzifikációja, az ipari – és azon belül különösen a védelmi ipari – kapacitások széttelepítése. Ez utóbbi témakörben új terület is megjelent: az államigazgatást és a katonai vezetést biztosító elektronikus adatok, valamint informatikai szerverek nemcsak kiber-, hanem fizikai védelme is, biztos helyre telepítéssel (migrálással). Emellett az is látható, hogy a társadalom általános műszaki tudása nagy segítséget tud jelenteni mind a haderő cselekvőképességének, mind a gazdaság és a társadalom mindennapi működésének fenntartásához.

Felhasznált irodalom

- BERGER, Miriam (2022): A Chernobyl tour group secretly helped track Russia's invasion. *The Washington Post*, 2022. augusztus 21. Online: <https://washingtonpost.com/world/2022/08/21/ukraine-spy-tour-group-russians/>
- Bevetették az oroszok a legmodernebb, Szu-57-es lopakodó vadászbombázójukat Ukrajnában (2022). *Portfolio*, 2022. július 9. Online: <https://portfolio.hu/global/20220609/bevetettek-az-oroszok-a-legmodernebb-szu-57-es-lopakodo-vadaszbombazojukat-ukrajnaban-549589>
- BREMER, Maximilian K.– GRIECO, Kelly A. (2022): In Denial About Denial: Why Ukraine's Air Success Should Worry the West. *War on the Rocks*, 2022. június 15. Online: https://warontherocks.com/2022/06/in-denial-about-denial-why-ukraines-air-success-should-worry-the-west/?__s=xxxxxxx

- CANCIAN, Mark (2017): Long Wars and Industrial Mobilization: It Won't Be World War II Again. *War on the Rocks*, 2017. augusztus 8. Online: <https://warontherocks.com/2017/08/long-wars-and-industrial-mobilization-it-wont-be-world-war-ii-again/>
- CHEUNG, Tai Ming (2009): *Fortifying China – The Struggle to Build a Modern Defense Economy*. London: Cornell University Press. ISBN 9780801446924
- CHEUNG, Tai Ming – MAHNKEN, Thomas G. (2022): The Grand Race for Techno-Security Leadership. *War on the Rocks*, 2022. augusztus 31. Online: <https://warontherocks.com/2022/08/the-grand-race-for-techno-security-leadership/>
- Conflict Armament Research (2016): *Standardisation and Quality Control in Islamic State's Military Production*. London: Conflict Armament Research Ltd. Online: <https://conflictarm.com/dispatches/standardisation-and-quality-control-in-islamic-states-military-production/>
- Data Embassy [é. n.]. *E-Estonia*. Online: <https://e-estonia.com/solutions/e-governance/data-embassy/>
- ERWIN, Sandra (2022): Maxar Eager to Launch New Satellites Amid Soaring Demand for Imagery Over Ukraine. *SPACENEWS*, 2022. április 11. Online: <https://spacenews.com/maxar-eager-to-launch-new-satellites-amid-soaring-demand-for-imagery-over-ukraine/>
- EVERSDEN, Andrew (2022): US Army Secretary: 5 Lessons from the Ukraine Conflict. *Breaking Defense*, 2022. június 1. Online: <https://breakingdefense.com/2022/06/us-army-secretary-5-lessons-from-the-ukraine-conflict/>
- GANSLER, Jacques S. (2011): *Democracy's Arsenal: Creating a Twenty-First-Century Defense Industry*. [H. n.]: The MIT Press. ISBN 9780262072991
- GOULD, Joe (2020): Stop Buying Turkey's F-35 Parts, Lawmakers tell DoD. *Defense News*, 2020. július 7. Online: https://defensenews.com/congress/2020/07/07/stop-buying-turkeys-f-35-parts-already-lawmakers-tell-dod/?utm_source=clavis
- HAYNES, Deborah (2019): F-35 Jets: Chinese-owned Company Making Parts for Top-secret UK-US Fighters. *Sky News*, 2019. június 15. Online: <https://news.sky.com/story/f-35-jets-chinese-owned-company-making-parts-for-top-secret-uk-us-fighters-11741889>
- HILLNER, Eric P. (2019): *The Third Offset Strategy and the Army Modernization Priorities*. Center for Army Lessons Learned. Online: <https://usacac.army.mil/sites/default/files/publications/17855.pdf>
- HUDSON, Lee (2022): Pentagon Suspends F-35 Deliveries After Discovering Materials from China. *POLITICO*, 2022. július 9. Online: <https://politico.com/news/2022/09/07/pentagon-suspends-f-35-deliveries-china-00055202>
- HUSZÁK Dániel (2022): Elképesztő gyűjtés készült az orosz haderő sufnituning járműveiről. *Portfolio*, 2022. április 7. Online: <https://portfolio.hu/global/20220407/elkepeszto-gyujtes-keszult-az-orosz-hadero-sufnituning-jarmuveirol-538077>
- HUSZÁK Dániel (2022): Nem várt helyről jön a segítség: Európa legerősebb haderejét építhetik fel Oroszország nyugati határán. *Portfolio*, 2022. szeptember 3. Online: <https://portfolio.hu/global/20220903/nem-vart-helyrol-jon-a-segitseg-europa-legerosebb-haderejet-epithetik-fel-oroszorszag-nyugati-hataran-564775>
- JOHNSON, David (2022): Ending the Ideology of The Offense, Part I. *War on the Rocks*, 2022. augusztus 15. Online: <https://warontherocks.com/2022/08/ending-the-ideology-of-the-offense-part-i/>
- JOHNSON, David (2022): Ending the Ideology of The Offense, Part II. *War on the Rocks*, 2022. augusztus 25. Online: <https://warontherocks.com/2022/08/ending-the-ideology-of-the-offense-part-ii/>
- JOHNSON, David (2022): The Army Risks Reasoning Backwards in Analyzing Ukraine. *War on the Rocks*, 2022. június 14. Online: <https://warontherocks.com/2022/06/the-army-risks-reasoning-backwards-in-analyzing-ukraine/>

- KELLY, Julie C. – LAGO, Daniel E. – THOMASON, James S. (2020): Strengthening Industrial Base Decision-Making for Precision-Guided Munitions. *War on the Rocks*, 2020. augusztus 11. Online: <https://warontherocks.com/2020/08/strengthening-industrial-base-decision-making-for-precision-guided-munitions/?fbclid=IwAR2ZnW6MOOmX7EfNdefpneCqny-RadR3agStYHokYiGooNNEU38cYUCDuffc>
- KLECZKA, Mitja – BUTS, Caroline – JEGERS, Marc (2020): Addressing the ‘Headwinds’ Faced by the European Arms Industry. *Defense & Security Analysis*, 36(2). 129–160.
- KRAEMER, Christian (2022): Germany Drawing Up New China Trade Policy, Vows ‘No More Naivety’. *Reuters*, 2022. szeptember 13. Online: <https://reuters.com/world/europe/germanys-new-china-policy-will-not-be-naive-economy-minister-2022-09-13/>
- LANDEN, Xander (2022): Russian Adherence to Soviet Doctrine ‘Demoralizing’ to Troops. *Newsweek*, 2022. szeptember 12. Online: <https://newsweek.com/russian-adherence-soviet-doctrine-demoralizing-troops-ret-colonel-1741841>
- MINTZ, John (1997): How a Dinner Led to a Feeding Frenzy. *The Washington Post*, 1997. július 4. Online: <https://washingtonpost.com/archive/business/1997/07/04/how-a-dinner-led-to-a-feeding-frenzy/13961ba2-5908-4992-8335-c3c087cdebc6/>
- NATO (2016): *Defense Expenditures of NATO countries*. PR(2016)011. 2016. január 26.
- O’BRIEN, Phillips Payson – STRINGER, Edward (2022): The Overlooked Reason Russia’s Invasion Is Floundering. *The Atlantic*, 2022. május 9. Online: <https://theatlantic.com/ideas/archive/2022/05/russian-military-air-force-failure-ukraine/629803/>
- Operator Starsky [@StarskyUA] (2022): „Unboxing” of Russian „Orlan”. *YouTube*, 2022. április 14. Online: <https://youtube.com/watch?v=IsPKSMeonxg>
- Oryx (2022): Attack On Europe: Documenting Russian Equipment Losses During The 2022 Russian Invasion Of Ukraine. *Oryx*, 2022. február 24. Online: <https://oryxspioenkop.com/2022/02/attack-on-europe-documenting-equipment.html>
- STROUT, Nathan (2020): Special Operations Command wants to put all mission data in a single pane of glass. *C4ISRNet*, 2020. június 1. Online: <https://c4isrnet.com/battlefield-tech/it-networks/2020/05/31/special-operations-command-wants-to-put-all-mission-data-in-a-single-pane-of-glass/>
- SZEDLÁK Ádám (2022): Az ukránok létrehozták a tűzvezetés Uberjét – interjú. *Forbes*, 2022. szeptember 10. Online: https://forbes.hu/uzlet/az-ukranok-letrehoztak-a-tuzvezetes-uberjet-interju/?fbclid=IwAR3AwH6w_E8W3fnz9LqVXAa81HBW30x9KzjgvLx0Md5mB7XHrNqkt7—w
- Úgy néz ki, az oroszok már civil járművekkel próbálják pótolni veszteségeiket (2022). *Portfolio*, 2022. március 7. Online: <https://portfolio.hu/global/20220307/ugy-nez-ki-az-oroszok-mar-civil-jarmuvekkel-probaljak-potolni-vesztesegeiket-531449>
- Ukraina: gladiatorskie boi (2022). *Prisp*, 2022. augusztus 4. Online: <http://prispu.ru/analitics/11005-skorobogatiy-ukraina-gladiatorskie-boi-0408>
- TAKSÁS Balázs (2013): *Gazdasági biztonsági kihívások napjaink globalizált világában*. PhD-értekezés. Budapest: Nemzeti Közszolgálati Egyetem.
- TAKSÁS Balázs (2017): A védelmi ipar és a katonai logisztika elfedett biztonsági kockázatai napjaink globalizált világában. *Honvédségi Szemle*, (6), 105–117.
- TAKSÁS Balázs (2019): Trinity of Defense Industry. *Economic and Management*, (1), 72–76. Online: <https://unob.cz/en/Eam/Documents/EaM%201-2019.pdf#page=70>
- TAKSÁS Balázs (2020): A hadiipar fejlesztésének feltételei és működésének követelményei. *Honvédségi Szemle*, 148(2), 125–135. Online: <https://kiadvany.magyarhonvedseg.hu/index.php/honvszemle/article/view/50/49>

- TAKSÁS Balázs (2021): Újjászülető védelmi ipar. *Haditechnika*, 55(1), 57–61. Online: http://real.mtak.hu/121799/1/HT_2021-1_cikk_11.pdf
- TAKSÁS Balázs (2022): Hadiipari transzformáció a 21. században. In M. SZABÓ Miklós (szerk.): *A hadtudomány aktuális kérdései napjainkban: I. kötet*. Budapest: Ludovika, 179–207.
- TAKSÁS Balázs – HEGEDŰS Ernő (2022): A magyar védelmi ipar jövőképe. *Köz-gazdaság*, 17(1), 9–26. Online: <http://unipub.lib.uni-corvinus.hu/7241/1/1405-Article%20Text-5247-1-10-20220309.pdf>
- THOMSON, Loren B. (2020): *Why U.S. National Security Requires a Robust, Innovative Technology Sector*. Lexington Institute.
- TSENG, Brandon (2022): Tanks and Helos: How Ukraine Can Inform Military Modernization Efforts. *Defense News*, 2022. március 31. Online: <https://defensenews.com/opinion/commentary/2022/03/31/tanks-and-helos-how-ukraine-can-inform-military-modernization-efforts/>

A főjelző szintű vasúthálózati modellek pontossága

A modellezésben általában van felbontási optimum, amelynél durvább léptéket használva a modellből kapott eredmények nem valósak a hálózat viselkedésére nézve. A szükségesnél részletesebb felbontású modell eredményeit azonban a valós rendszerben rejlő bizonytalanságok miatt szükségtelen erőforrás-felhasználással kaptuk meg. Jelen tanulmányban a magyarországi vasúthálózat hálózati szintű paramétereit vizsgálom két gráfmodellben. Az egyikben csak olyan vasútállomások szerepelnek a gráf csúcsaiként, ahol legalább két vasútvonal csatlakozik, és a közöttük található pályaszakaszt egyetlen egységként kezelem. A másikban a főjelzőket mint a vasúti közlekedés alapegységeit reprezentálják a gráf csúcsai.

Kulcsszavak: vasút, gráfelmélet, térköz, modell, pontosság

The Accuracy of Railway Models of Block Signal Level

In modelling, usually there is an optimal resolution, below which the results obtained from the model are not valid for the behavior of the real network. However, results obtained from a model more detailed than needed still contain some uncertainties due to the uncertainties in the real network but it was built up using an unnecessary amount of resources. In this paper I analyze network-level measures of the railway network of Hungary in two different graph models. In the first one the nodes of the graph are stations of the network where at least two railway lines meet. In the second one the main signals, the basic elements of railway transport are represented by the nodes of the graph.

Keywords: railway, graph theory, block section, model, accuracy

Bevezetés

A számítógépeket olyan számítások automatikus elvégzésére tervezték, amelyeket emberi erővel nem lehetne hatékonyan elvégezni elegendően gyorsan vagy elegendően pontosan a számítások összetettsége miatt. Hatékonyságukat a hálózattudomány megszületésétől fogva kihasználták egyre komplexebb hálózatok modellezésére. Ha a használt modell kellően pontos, akkor a számítások olcsóságuk, gyorsaságuk és praktikusán végtelen ismételhetőségük miatt a kísérleteket is kiválthatják.

¹ Habilitált egyetemi docens, Nemzeti Közszerológati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Természettudományi Tanszék; tudományos titkár, Nemzeti Közszerológati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola; e-mail: toth.bence@uni-nke.hu; ORCID ID: 0000-0003-3958-187X.

Emellett vannak olyan hálózatok is, amelyeket nem lehet kísérleti úton vizsgálni, különösen azok zavarát. Ilyenek például az olyan létfontosságú rendszerelemek, mint a telekommunikációs hálózatok, az elektromosenergia-szállító rendszer, az ivóvízhálózat vagy a közlekedési hálózatok. Ugyanakkor szükséges a rendszerek viselkedésének alapos ismerete, hogy zavar esetén a lehető leggyorsabban és leghatékonyabban lehessen azt elhárítani.²

Másrészről, ha a modell nem elég pontos és részletes, a használatával kapott eredmények félrevezetőek lehetnek a zavarkezelésnél, és még nagyobb zavart okozhatnak. Ezért a modellek korábbi zavareseményeken történő validálását el kell végezni.³ Modell azonban sosem lehet olyan részletes, mint a valós hálózat, azaz elhanyagolások szükségesek. A modell jósága ezen elhanyagolásokban rejlik: a fontos paramétereket hagyta-e meg a modell felépítője, és a szükségteleneket hagyta-e el?

Tanulmányomban bemutatom a magyarországi vasúthálózat új gráfmodelljét. Mivel a katonai szállításokban a vasút kiemelt szerepet játszik az ország földrajzi helyzete,⁴ a vasúthálózat sűrűsége és a jelentős számú honvédségi és repülőtéri iparvágány miatt,⁵ kiemelt jelentőségű a gyenge pontok, kapacitásszűkületek megbízható beazonosítása a fejlesztési javaslatok megalapozott megfogalmazásához.

Azonban a modellek pontossága nem növelhető korlátlanul a valós hálózatban rejlő bizonytalanságok miatt, amelyek a kapott eredményt mindenképpen hibával terhelik. Ha az ezen bizonytalanságok által okozott hiba nagyobb, mint a modell elhanyagolásaiból adódó hiba, akkor a modell a szükségesnél pontosabb. Egy korábbi cikkemben⁶ bemutattam a magyarországi vasúthálózat modelljét, amelyben csak a csatlakozó állomások szerepeltek, a vasútvonalak középállomásai nem, ezért erre a modellre az egyszerűség kedvéért a továbbiakban állomásszintű modellként fogok hivatkozni. Az itt bemutatandó részletesebb modellre térszintű modellként fogok utalni, mivel ez már tartalmazza nemcsak az összes állomás bejáratát és kijáratát jelzőjét, hanem a térszintű jelzőket is (azaz a hálózat összes főjelzőjét). A következőkben bemutatom a térszintű modell felépítésének elvét és a modelleket jellemző hálózati szintű mennyiségeket.

² LÉVAI Zsolt (2020): A katonai közlekedési támogatás vasútföldrajzi alapú vizsgálata. *Földrajzi Közlemények*, 144(4), 380–395.

³ SZÁSZI Gábor (2014): *A vasúti hálózati infrastruktúrával szemben támasztott újszerű védelmi követelmények kutatása, a továbbfejlesztés feltételrendszerének vizsgálata*. PhD-értékezés. Budapest: NKE Katonai Műszaki Doktori Iskola, 89–92.

⁴ SZÁSZI Gábor (2012): Transz Európai Közlekedési Hálózat (TEN-T) tervezett fejlesztési iránya, várható hatása Magyarország vasúthálózatának fejlesztésére. *Szolnoki Tudományos Közlemények*, 16, 402–425.; SZÁSZI Gábor (2018): Transzeurópai közlekedési hálózat. In SIPOSNÉ KECSKEMÉTHY Klára – SZÁSZI Gábor: *Közlekedési hálózatok*. Budapest: Dialóg Campus, 173–187.

⁵ OROSZ Réka – SZÁSZI Gábor (2020): A Magyar Honvédség légiszállító-képességének fejlesztési lehetőségei a gazdasági és katonai tényezők figyelembevételével. *Katonai Logisztika*, 28(1–2), 95–113.

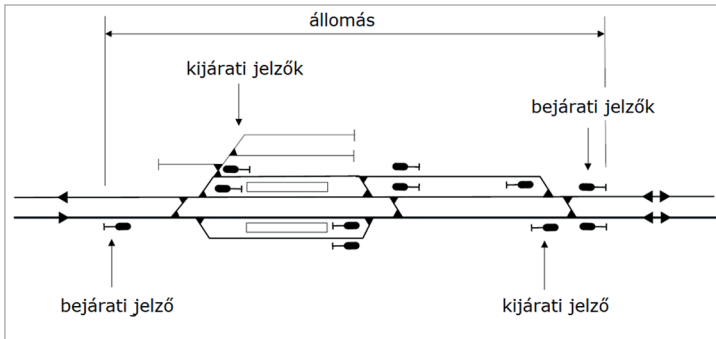
⁶ TÓTH Bence (2017): Állomások és állomásközpontok zavarának gráfelméleti alapú vizsgálata a magyarországi vasúthálózaton. *Hadmérnök*, 12(4), 52–66.; TÓTH Bence (2018): Menetidő- és menetvonalhossz növekedés gráfelméleti alapú vizsgálata a magyarországi vasúthálózaton állomások és állomásközpontok zavar esetén. *Hadmérnök*, 13(1), 118–132.

A magyarországi vasúthálózat térközsztintű gráfmodellje

A magyarországi vasúthálózatot tehát élsúlyozott irányított gráffal modelleztem.⁷ A gráf csúcsai (98%-ban) a hálózatban található főjelzőket reprezentálták. Ennek oka, hogy a vasúti közlekedés főjelzők között történik.

Állomások

Egy állomást a két végén található bejáratú jelzők definiálnak⁸ (1. ábra). Azonban a vonatok nem az állomás bejáratú jelzőjéig közlekednek, hanem az állomás területére. Ezért egy menetvonalat az induló és az érkező állomás kijáratú jelzői között definiáltam, a menetvonal hosszát az induló állomás kijáratú jelzőjét reprezentáló gráfcsúcs és az érkező állomás kijáratú jelzőjét reprezentáló gráfcsúcs között számítottam.



1. ábra: Egy állomás főjelzőinek elhelyezkedése

Forrás: a szerző szerkesztése PACHL 2021 alapján

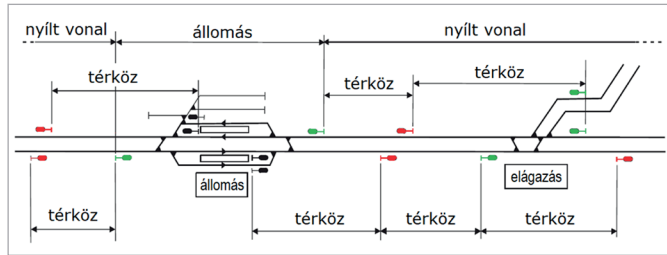
Térközök

Két főjelző között egyszerre csak egy vonat tartózkodhat. Ez két szomszédos állomásnál az egyik állomás kijáratú jelzőjét és a következő állomás bejáratú jelzőjét jelenti. Ha a két állomás túl messze található egymástól, akkor a vasútvonal a jelentkező forgalmat bizonyos szint fölött már nem tudja kiszolgálni. A helyzet kezelésére a vasútvonal áteresztési kapacitása növelhető, ha azt felosztjuk úgynevezett térközökre. Ehhez térközjelzőket (amelyek a bejáratú és a kijáratú jelzőkhöz hasonlóan főjelzők) telepítünk a két állomás közé. Az első térköz az egyik állomás kijáratú jelzőjétől az első térközjelzőig tart, az utolsó térköz pedig az utolsó térközjelzőtől a másik állomás bejáratú jelzőjéig. A bejáratú jelzőtől

⁷ TÓTH Bence (2021): The Effect of Attacks on the Railway Network of Hungary *Central European Journal of Operations Research*, 29, 567–587.

⁸ MÁV (2008): F. 2. sz. forgalmi utasítás. MÁV Zrt. Pályavasúti Üzemeltetési Főigazgatóság. 21.

a kijáratí jelzőig terjedő szakasz szintén térközként funkcionál. A térközi közlekedés elvét a 2. ábrán láthatjuk.



2. ábra: Térközi közlekedésre berendezett pálya vázlata. A zöld jelzők bejárati jelzők, a feketék kijárati jelzők, a pirosak térközjelzők

Forrás: a szerző szerkesztése LUSBY et al. 2011 alapján

Jelzők és pálya

A modellgráf csúcsai tehát a magyarországi vasúthálózat főjelzőit: bejárati, kijárati, illetve térközjelzőit reprezentálták. Ezen jelzők pontos pozíciója nyilvánosan elérhető a Vasúti Pályakapacitás-elosztó Kft. (a továbbiakban: VPE Kft.) weblapján.⁹

A gráfcúscsokat összekötő élek ebből következően a főjelzők közötti vasúti pályát reprezentálták, megfelelő súlyozással. Az itt bemutatandó eredmények kétféle súlyozással születtek: vagy az adott vonalszakasz hosszát, vagy menetidejét rendeltem hozzá a megfelelő gráfélhez. A főjelzők távolsága a VPE Kft. weblapján méterpontossággal elérhető, így a menetvonalak számított hossza is néhány méter pontosságú. A menetidőt a vonalszakasz hossza és a rajta engedélyezett sebesség (amely szintén elérhető a VPE Kft. weblapján) hányadosaként számítottam. Ez azt is jelenti, hogy az így kapott menetidőértékek a valós menetidő alsó korlátját jelentik, hiszen nem tartalmazzák például a lassú jeleket, a gyorsítási és lassítási időket stb.

A vasútvonalak villamosítása (bináris változóként), a vágányszám, az engedélyezett sebesség, a tengelyterhelés, illetve a közlekedtethető vonathossz (ezek szintén elérhetőek a VPE Kft. weblapján) szintén szerepelt az adatbázisomban, azonban az itt bemutatandó számításokban nem használtam fel azokat. A jövőben tervezett kapacitásvizsgálatokhoz azonban már most rendelkezésre állnak. A VPE Kft. adatbázisában nem szereplő honvédségi iparvágányok adatait a vonatkozó kormányrendelet,¹⁰ egyéb szakirodalmi adatok,¹¹ illetve saját mérések alapján építettem be a modellbe.

Mivel a modellt alapvetően honvédségi szállítások modellezésére építettem fel, amelyek mozdonnyal közlekedtetett vonatokkal történnek, azon vasúti pályákra, ahol a mozdonnyal továbbított szerelvények számára alacsonyabb az engedélyezett sebesség, mint

⁹ Vasútvonalak [é. n.]. *VPE*; VPE vasúthálózati térkép [é. n.]. *VPE*.

¹⁰ 277/2014. (XI. 14.) Korm. rendelet a vasúti közlekedési hatóság által kiszabható bírság mértékéről és megfizetésének részletes szabályairól.

11 SZÁSZI Gábor (2009a): A védelmi szempontból meghatározó repülőterek vasúti kapcsolatának helyzete Magyarországon. *Repüléstudományi Közlemények*, 21(különszám), 1–22.

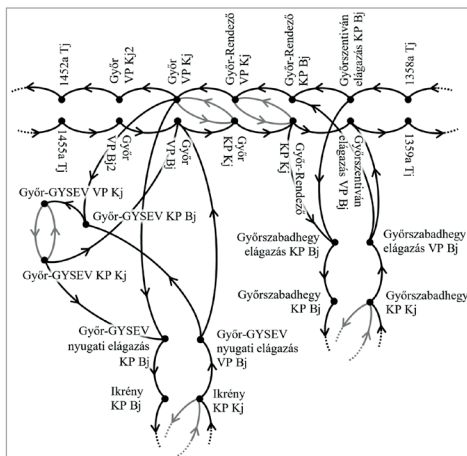
motorvonatoknak, ott ez az alacsonyabb sebesség lett figyelembe véve. Hasonlóan, ha nagyobb tengelyterheléshez alacsonyabb engedélyezett sebesség tartozik adott pályaszakaszon, ott is ezt az alacsonyabb sebességet vettem alapul a számításokhoz.

Az így felépített gráf összesen 5184 csúcsot tartalmazott, amelyből 1689 reprezentált bejáratit jelzőt, 1493 kijáratit jelzőt, 1888 térközjelzőt, 114 pedig egyéb vágánykapcsolati pontot, például határátmenetet vagy iparvágányt. A gráfcsúcsok közti vágánykapcsolatokat 6780 gráfél írta le.

Néhány 0 km/h engedélyezett sebességű vonal is szerepelt a modellben (például a 49. sz. Lepsény–Csajág–Papkeszi vonal), sőt, teljesen felszedett pályák is (például az 1CM sz. „Nagy Burma” vágány), megkönnyítendő a jövőbeli fejlesztési tervek modellezését. Ilyenek lehetnek például a Budapest Agglomerációs Vasúti Stratégia által előírányzott fejlesztések,¹² mint a Budapest-Kelenföld–Budapest-Nyugati vasúti alagút vagy a 150. sz. vonal felvezetése az összekötő vasúti hídra.

Irányváltás

A szerelvények irányváltására (azaz a modellben a menetvonalnak egy állomás azonos végén történő be-, illetve kilépésére) 710 állomáson van lehetőség. Ezt a modellben úgy tettem lehetővé, hogy az erre alkalmas állomások ellentétes oldali kijáratú jelzőit 0 km, illetve 10 perc súlyozású gráfféllal összekötöttem. A 10 perces időtartam a megállás és az indulás közti vasútiüzemi tevékenységek (szétakasztás, körüljárás, fékpróba stb.) ideje, amely szintén alsó korlátot jelent.



3. ábra: A Győr állomást és környékét leíró részgráf diagramja. A szürkével jelzettek az állomási irányváltást leíró gráfélek

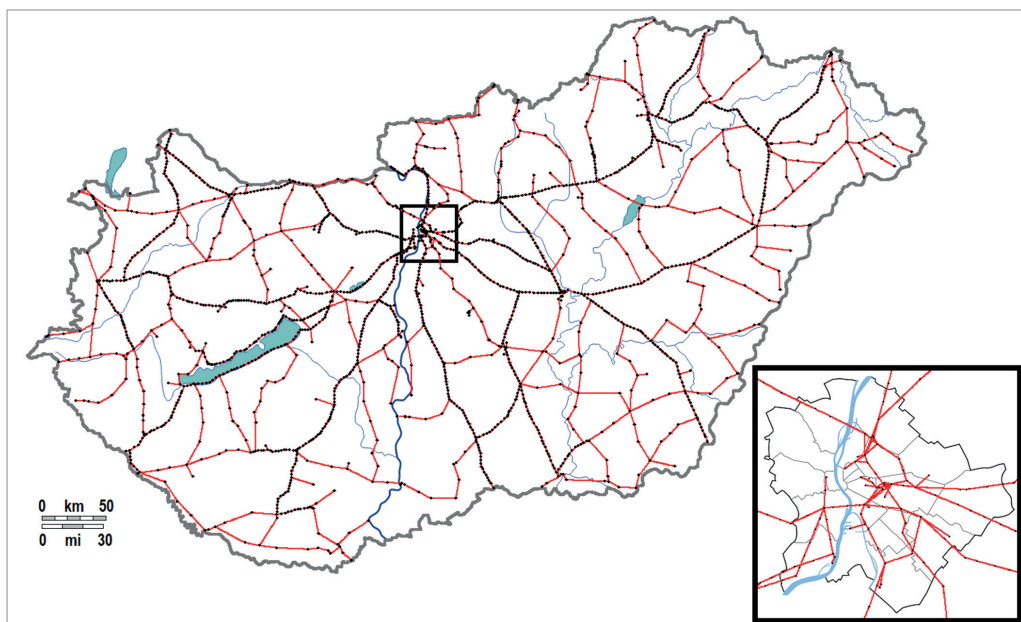
Forrás: a szerző szerkesztése

¹² LÉVAI Zsolt (2022): A Budapesti Agglomerációs Vasúti Stratégia által javasolt új budapesti vasúthálózat helyettesíthetőségének vizsgálata. In HORVÁTH Gábor – HORVÁTH Balázs (szerk.): *XX. European Transport Congress / XII. International Conference on Transport Sciences*. Gvőr: Közlekedéstudományi Egyesület, 342–354.

Ahhoz azonban, hogy a legrövidebbút-számító algoritmus ezt az extra 10 percet figyelembe vegye, a teljes gráfot irányítani kellett. Ez azt is jelenti, hogy a két közlekedési irányt eltérő élek reprezentálják, még egyvágányú pályán is. A másik oka az irányításnak az volt, hogy (mint ahogy a 2. ábrán is látható) egy állomás kijáratí jelzőjének és az első térközjelzőnek a távolsága nagyobb, mint az azonos oldali bejáratí jelző és ugyanazon térközjelző távolsága.

A jelzők jelölése az adott vasútvonal kezdőpontjának és végpontjának helyzete alapján történt. Amennyiben a vasútvonal Budapestről indul, akkor a fővárosi vége a kezdőpontja, a másik a végpontja. Ha nem érinti Budapestet, akkor az illetékes vasútigazgatóság jelöli ki a kezdőpontot és a végpontot. Ez azt is jelenti, hogy definiálhatjuk minden állomás kezdőpontját és végpontját is: egy állomás kezdőpontja a vasútvonal kezdőpontjához közelebbi vége, az állomás végpontja a vasútvonal végpontjához közelebbi vége. Amennyiben egy állomáson két vasútvonal találkozik, a kezdőpontot és a végpontot azon vasútvonal alapján kell meghatározni, amelyen az állomás fekszik.

A gráf felépítésének elvét a 3. ábrán Győr és a környező állomások példáján mutatom be. A pontok a gráf csúcsait jelentik, azaz főjelzőket, a köztük levő nyílak a gráf irányított éleit, azaz a vasútvonalszakaszokat. A szürke élek az állomási fordulóidőket leíró gráféleket jelentik. A teljes hálózat diagramját a 4. ábrán láthatjuk: a fekete pontok a főjelzőknek megfelelő gráfcsúcsok, a piros szakaszok a vasútvonalaknak megfelelő gráfélek.



4. ábra: A magyarországi vasúthálózat gráfjának diagramja

Forrás: a szerző szerkesztése

Számítási módszerek és a hálózatot leíró mennyiségek

Szoftverkörnyezet

A számítások az *R* programozási nyelv és környezetben¹³ történtek a Csárdi Gábor és Nepusz Tamás által kifejlesztett *igraph* csomag¹⁴ segítségével. A két állomás közötti, menetidő vagy menetvonalhossz szempontjából legrövidebb utat (pontosabban a két állomási kijárat közötti utat) a csomag *distances()* függvényével lehet meghatározni. Ez a függvény olyan élsúlyozott gráfokra, amelyek csak nem negatív súlyú éleket tartalmaznak (mint esetünkben is), a Dijkstra-algoritmust¹⁵ használja a legrövidebb út¹⁶ meghatározásához.

Mivel azonban két gráfbeli csúcs távolsága nem két állomás, hanem két főjelző távolságát reprezentálja, először négy távolságot kell meghatározni: mindkét állomás mindkét (kezdőponti és végponti) kijárat között, és ezek közül ki kell választani a legrövidebbet. Míg távolság-súlyokra a négy távolságérték azonos lesz, addig az idő-súlyokra két menetidőérték 10 perccel, egy pedig 20 perccel lesz hosszabb az optimálisnál. Ez azon csúcsok között adódik, amelyeknél az egyiket vagy mindkettőt az állomás távolabbi végéről választottuk, és ezért az útvonal irányváltással kezdődik és/vagy ér véget, és így az irányváltó él(ek) 10 perces súlyai hozzáadódnak a teljes menetidőértékhez.

A megfelelő gráfcúcsok meghatározása után a pontos útvonal a *shortest_path()* függvény segítségével határozható meg, melynek *\$epath* értéke adja vissza az érintett élek sorszámát.

Kapcsolatköztiség

A fenti módon meghatározva minden lehetséges $\langle a, b \rangle$ állomáspár között a legrövidebb utat, akkor az egyes hálózati elemekhez hozzárendelhetjük azt a számot, ahány legrövidebb út azt érinti. Ezt a mérőszámot kapcsolatköztiségnek nevezzük (*betweenness centrality*).¹⁷ Ezt a mennyiséget még érdemes normálni az összes menetvonal darabszámával, hogy relatív mennyiséget kapjunk, amely által különböző hálózatok elemei is összehasonlíthatóak. Ez lesz tehát az egyes hálózati elemek forgalmának mérőszáma uniform forgalom mellett. Azt azonban nem szabad elfelejteni, hogy ezzel az egyes

¹³ R Core Team (2012): *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.

¹⁴ CSÁRDI G. – NEPU SZ T. (2006): The *igraph* software package for complex network research. *InterJournal, Complex Systems*, 1695.

¹⁵ E. W. DIJKSTRA (1959): A Note on Two Problems in Connexion with Graphs. *Numerische Mathematik*, 1, 269–271.

¹⁶ „Legrövidebb út” alatt összefoglalóan értem a távolság- és a menetidőértékekkel súlyozott legrövidebb utat. Amikor kifejezetten csak az egyikről van szó, azt külön jelzem.

¹⁷ L. C. FREEMAN (1977): A set of measures of centrality based upon betweenness. *Sociometry*, 40, 35–41.; J. LIN – Y. BAN (2013): Complex Network Topology of Transportation Systems. *Transport Reviews*, 33, 658–685.

hálózati elemek kapacitását végtelennek feltételeztük; ami ugyanazt jelenti, mintha egyszerre csak egy vonat közlekedne a hálózaton, és utána összeadnánk, hogy az egyes vonalszakaszokat hány ilyen egymástól függetlenül leközlekedtetett szerelvény érintette.

Az összegzésnél az irányváltást leíró éleket nem kell figyelembe venni, hiszen amikor az adott állomásnál a menetvonal a bejáratí jelzőtől a kijáratí jelzőig haladt, már hozzáadódott a járuléka az állomás értékéhez.

Zavarok modellezése

Azt is megvizsgáltam, hogy mekkora zavartatást okoz a teljes hálózaton egyetlen vonalszakasz kiesése, azaz az egyes vonalszakaszok forgalmának megváltozását, ha egyetlen vonalszakasz nem lesz járható.¹⁸ Azaz teljes kizárást feltételeztem, és azt, hogy a járhatatlan vonalszakasz az indulás előtt már ismert, azaz ennek ismeretében tudjuk tervezni a kerülőutat.¹⁹

Ennek modellezéséhez a kizárt vonalszakasz súlyát végtelenné tettem (mind a távolság-, mind a menetidősúlyokra). Ha létezik véges hosszúságú kerülőút két állomás között, akkor az algoritmus megtalálja; ha nincs, végtelen értéket ad vissza a legrövidebb út hosszára.

Ez utóbbi eredmény jelenthetné azt, hogy a kizárt vonalszakasz végtelenül fontos a hálózat szempontjából, hiszen nem létezik hozzá kerülőút. Azonban például a zsákvonalak nélkül a hálózat többi része zavartalanul üzemel, pedig azok kiesésekor (kerülőút hiányában) a legrövidebb út hossza végtelennek adódik a számolásból. Ez azt is jelenti, hogy bár a számolt eredmény végtelen, ezek a vonalszakaszok nem végtelenül fontosak a hálózat egésze szempontjából, ezért ezeket a vonalszakaszokat az egész számolásból kihagytam, azaz a zavarmentes hálózat összmenetvonalhosszát és összmenetidejét is úgy határoztam meg, hogy ezek a viszonylatok nem szerepeltek benne, sem egyik zavart hálózatban sem.

Eredmények

Kiszámítva a fenti mennyiségeket az egyes vonalszakaszoknál jellemezni tudjuk a magyarországi vasúthálózat egyes elemeit, és össze tudjuk őket hasonlítani egymással. A számításokat elvégeztem mind minimális menetvonalhosszakra, mind minimális menetidőkre. Először bemutatom a hálózat egészének viselkedését normál üzemi körülmények között, a hálózat átlagos viselkedését egy véletlenszerű vonalszakasz zavaránál, majd az egyes konkrét vonalszakaszok zavarának hatását a hálózat egészére,

¹⁸ D. M. SCOTT et al. (2006): Network Robustness Index: A new method for identifying critical links and evaluating the performance of transportation networks. *Journal of Transport Geography*, 14. 215–227.

¹⁹ Athina. TYMPAKIANAKI et al. (2018): Impact Analysis of Transport Network Disruptions Using Multimodal Data: A Case Study for Tunnel Closures in Stockholm. *Case Studies on Transport Policy*, 6, 179–189.

és a térközzintű modellből kapott eredményeket összehasonlítom az állomásszintű modellből kapott eredményekkel.

Átlagos úthossz

Első lépésben kiszámítottam az átlagos menetvonalhosszat, illetve az átlagos menetidőt a zavarmentes hálózatban, amelyek az összes minimális menetvonalra kiszámított érték átlagát jelentik.²⁰ Értékükre 229,7 km, illetve 151,9 perc adódott, amely értékek 2,71-szer, illetve 3,23-szor kisebbek a hálózat átmérőjénél. Ez utóbbi az összes legrövidebb út közül a legnagyobbat jelentik, azaz hogy melyik két állomás van egymástól a legmesszebb távolságban, illetve időben.²¹ Ennek a különbségnek az egyik oka, hogy a magyarországi vasúthálózat a szélei felé „ritkul”, azaz Budapesttől távolabb ritkábbak a transzverzális kapcsolatok, míg az állomások sűrűsége nem csökken, azaz a távoli állomások közötti menetvonalak eleve hosszabb úton jutnak el a megfelelő radiális fővonalra. A másik ok a jelentős méretű zsákvonalrendszerek jelenléte a hálózatban, elég ha a Mátészalkánál, Miskolc-Gömörinél vagy Szentlőrincnél csatlakozó, összesen 90,6 km, 110,4 km, illetve 146,4 km hosszúságú zsákvonalakra gondolunk (csak a nem 0 km/h engedélyezett sebességű vonalakat figyelembe véve), amelyek állomásairól a törzshálózat csak a nevezett csatlakozó állomások érintésével érhető el.

Természetesen az átlagos úthossz kiszámítható zavart hálózatban is. Ehhez az egyes vonalszakaszok gráfbeli súlyát egyesével (külön-külön) végtelenné téve meghatározható az összes $\langle a, b \rangle$ állomáspár közti legrövidebb út hossza (amennyiben az nem végtelennek adódik). Jelöljük az a és b állomás közti távolságban legrövidebb út hosszát az i vonalszakasz zavar esetén ℓ_{abi} -vel, az a és b állomás közti leggyorsabb út menetidejét az i vonalszakasz zavar esetén t_{abi} -vel. A zavarmentes hálózatban ezeket az értékeket jelöljük ℓ_{ab0} -val, illetve t_{ab0} -val.

Az ℓ_{abi} és a t_{abi} értéket átlagolva minden $\langle a, b \rangle$ állomáspárra és minden i vonalszakaszra megkapjuk egy véletlenszerű vonalszakasz zavarának átlagos hatását a legrövidebb út hosszára.²² Minimális menetvonalhosszak esetén ez az érték 230,3 km-nek adódik, amely mindössze 0,66 km-rel hosszabb a zavarmentes hálózatra kapott értéknél. Hasonlóan minimális menetidőkre az átlagos menetidő 152,85 percrek adódik, amely csak 0,97 perccel több, mint a zavarmentes hálózatban. Ez azt jelenti, hogy a véletlen zavar a hálózatban csak minimális zavart okoz.

Amennyiben az i vonalszakaszokra nem átlagolunk, csak az $\langle a, b \rangle$ állomáspárookra, azzal az egyes konkrét vonalszakaszok hálózatra gyakorolt hatását tudjuk számszerűsíteni,

²⁰ M. BARTHELEMY (2010): Spatial networks. *Physics Reports*, 499, 6–7.

²¹ TÓTH Bence (2022): A modellek felbontásának hatása az eredmények pontosságára – állomásköz vs. térköz. In HORVÁTH Gábor – HORVÁTH Balázs (szerk.): *XX. European Transport Congress / XII. International Conference on Transport Sciences*. Győr: Közlekedéstudományi Egyesület, 415–423.

²² S. JANSUWAN – A. CHEN (2015): Considering perception errors in network efficiency measure: an application to bridge importance ranking in degradable transportation networks. *Transportation A*, 11, 793–818.

és ebben az esetben a kép már sokkal árnyaltabb lesz. Jelöljük $\Delta\ell_i$ -vel az i vonalszakasz zavara esetén számított, nem végtelen hosszúságú legrövidebb utak hosszának a zavarmentes hálózatbeli átlagos menetvonalhossz-értékkel normált értékeinek összegét minden $\langle a, b \rangle$ állomáspárra, és hasonlóan Δt_i -vel az i vonalszakasz zavara esetén számított, nem végtelen menetidejű legrövidebb utak menetidőinek a zavarmentes hálózatbeli átlagos menetidőértékkel normált értékeinek összegét minden $\langle a, b \rangle$ állomáspárra:

$$\Delta\ell_i = \sum_{\substack{\langle a, b \rangle \\ \ell_{abi} < \infty \forall i}} \frac{\ell_{abi}}{\ell_{ab0}}$$

$$\Delta t_i = \sum_{\substack{\langle a, b \rangle \\ t_{abi} < \infty \forall i}} \frac{t_{abi}}{t_{ab0}}$$

Az ennek megfelelő nem relatív mennyiség a teljes hálózat összmenetvonalhossza (*TNPL, total network path length*) és a teljes hálózat összmenetideje (*TNTT, total network travel time*), amely a zavarmentes hálózatbeli értékkel való normálás nélküli mennyiség az adott i vonalszakasz zavara esetén:

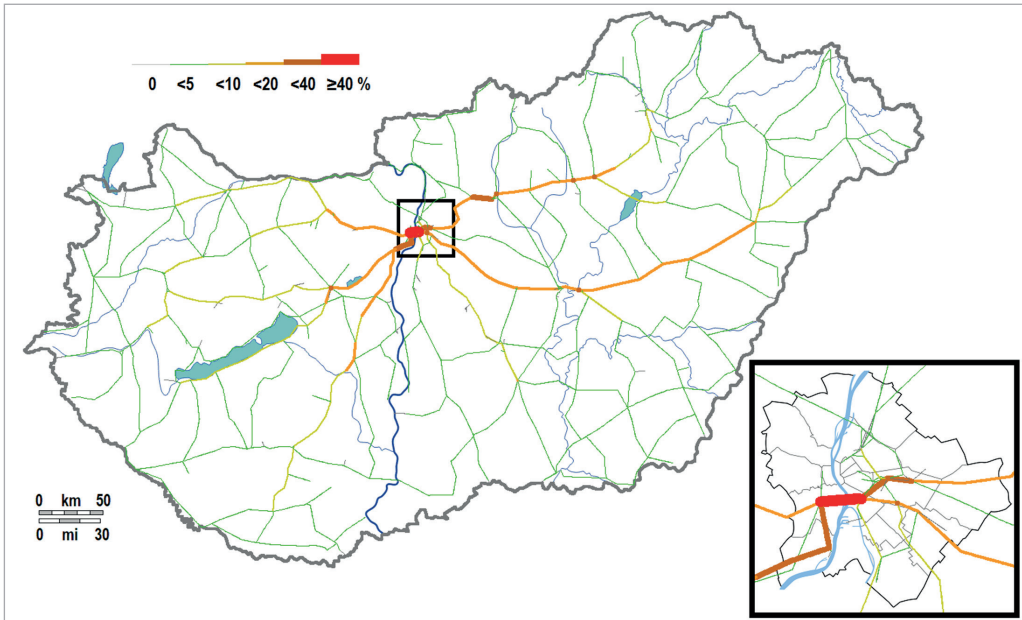
$$TNPL = \sum_{\langle a, b \rangle} \ell_{abi}$$

$$TNTT = \sum_{\langle a, b \rangle} t_{abi}$$

A kapott eredmények ismertetése előtt azonban vizsgáljuk meg az egyes vonalszakaszokon jelentkező forgalom mértékét!

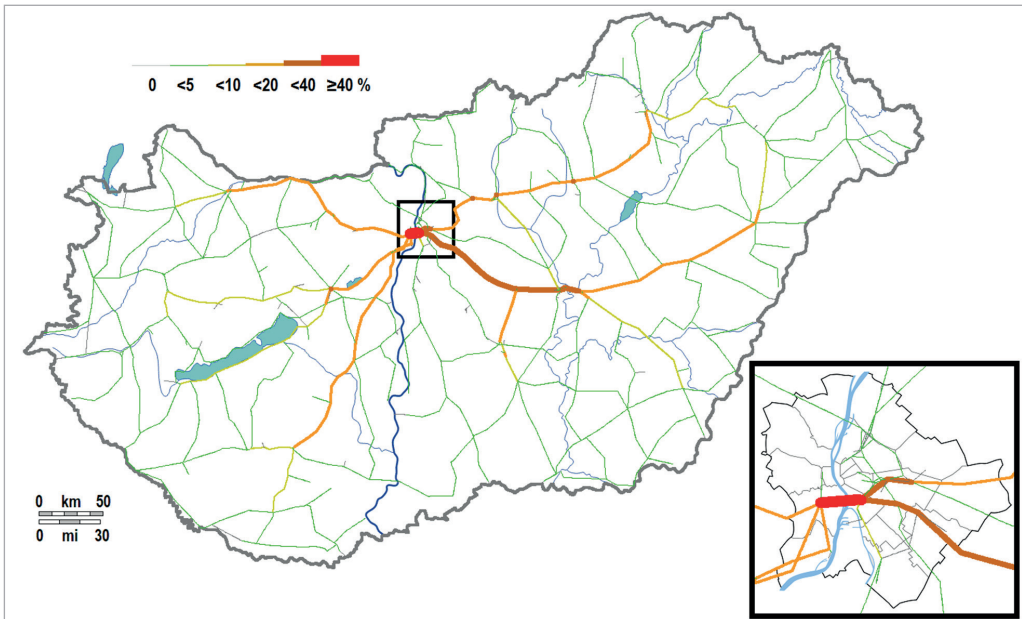
Kapcsolatköztiség – térközszintű modell

A magyarországi vasúthálózat egyes hálózati elemeinek kapcsolatköztiség-értékeit minimális menetvonalhosszakkal és minimális menetidőkkel számolva, mindkettőnél normálva az összes menetvonal számával az 5., illetve a 6. ábrán láthatjuk. A tárgyalás könnyebbé kedvéért a minimális menetvonalhosszokra vonatkozó eredményeket (ℓ -lel, a minimális menetidőkre vonatkozóakat pedig (t)-vel fogom jelölni a megfelelő eredmény mellett.



5. ábra: A hálózati elemek normált kapcsolatköztsége minimális menetvonalhosszakra a térközsztű modellben

Forrás: a szerző szerkesztése



6. ábra: A hálózati elemek normált kapcsolatköztsége minimális menetidőkre a térközsztű modellben

Forrás: a szerző szerkesztése

Mindkét súlyozásra a Ferencváros–Kelenföld állomásköz adódott a legforgalmasabbnak, azaz az összekötő vasúti hidat is tartalmazó állomásköz, amelyen valóban a teljes kelet–nyugati vasúti tranzit teherforgalom áthalad. A modellszámítások alapján az összes menetvonal 45,2%-a (ℓ), illetve 47,8%-a (t) használja ezt az infrastruktúra-elemet; ha azonban csak a Dunán áthaladó menetvonalakat vesszük figyelembe, ez az arány 84,4% (ℓ), illetve 87,7% (t)!

Ennek oka a megfelelő paraméterű alternatív útvonalként használható Duna-hidak hiánya. A másik villamosított Duna-híd, az újpesti vasúti híd mellett, hogy egyvágányú, a Kopár-hágói alagútba nem fér be a villamos ürszelvény, és így tehervonati forgalomra alkalmatlan. Ennek a ténynek jelentős következményei vannak a katonai vasúti szállításokra is. Emellett az újpesti vasúti híd szintén Budapesten található, tehát az összekötő vasúti hidat annak zavara esetén nagy valószínűséggel földrajzi helyzetéből adódóan nem tudná kiváltani. A bajai Türr István híd pedig nemcsak egyvágányú, hanem villamosítatlan is.²³

Bár a Budapest–Almásfüzitő távolság kb. 2,5 km-rel hosszabb a 2. és a 4. sz. vonalon, mint az 1. sz. vonalon (átlagolva Rákos és Kőbánya-Kispest állomás és Almásfüzitő távolságát a két útvonalon), a 4. sz. Esztergom–Almásfüzitő vonal alacsony pályasebessége miatt a különbség a két útvonal menetidejében majdnem kétszeres (47 perc és 90 perc). A 2. sz. vonal felújítása annak mindenképpen javára vált, de a közeljövőben semmiképpen sem várható olyan mértékű átépítése, hogy valódi alternatívát nyújthasson az 1. sz. fővonalnak, a valódi alternatívát csak egy Budapeستől délre építendő új híd jelentené.²⁴

A 5. és a 6. ábra közti feltűnő különbség a 80a/80. sz. (Budapest–Hatvan–Miskolc–Nyíregyháza) és a 100a/100. sz. (Budapest–Cegléd–Szolnok–Debrecen–Nyíregyháza) fővonal hasonló forgalma minimális menetvonalhosszakra és a 100a/100. sz. vonal jelentős többlete minimális menetidőkre. Ennek oka a 142. sz. (Budapest–Lajosmizse–Kecskemét) vonal szerepében keresendő. A 142. sz. vonalon Kecskemét 7 kilométerrel közelebb van Budapesthez, mint a 100. sz. és a 140. sz. vonalon Cegléden keresztül. Azonban a kilométerben rövidebb út 29 perccel hosszabb menetidőt jelent. Vagyis bár megfelelő pályaparaméterek esetén a 142. sz. vonal megfelelő alternatíva lehetne a Dél-Alföld elérésében, ez a 150. sz. (Budapest–Kunszentmiklós–Tass–Kelebia) vonal jelenleg zajló felújítása miatt nem fog megtörténni. Utóbbit ugyanis a tervek szerint 160/120 km/h sebességű vonatok közlekedtetésére építik át, ami figyelembe véve TEN-T hálózati szerepét, érthető fejlesztés.

A két különböző élsúlyozásra kapott eredmények a különbözőségek ellenére több egyezést is mutatnak. Mindkettőnél az 1., a 20., a 30., a 80., a 100. és a 120. sz. fővonal alkotja a hálózat gerincét, ami azt jelenti, hogy ezeken a vasútvonalakon halad a legtöbb

²³ SZÁSZI Gábor (2013): Long-span railway bridges in the transport system of Hungary. *Hadmérnök*, 8(2), 98–107.

²⁴ TÓTH Bence – HORVÁTH István (2019): How the Planned V0 Railway Line Would Increase the Resilience of the Railway Network of Hungary Against Attacks. *Academic and Applied Research in Military and Public Management Science*, 18(4), 109–129.; TÓTH Bence – LÉVAI Zsolt (2021): Új vasúti Duna-hidak helyszíneinek kvantitatív analízise a vasúthálózat szempontjából. In HORVÁTH Balázs – HORVÁTH Gábor (szerk.): *XI. Nemzetközi Közlekedéstudományi Konferencia 2021*. Győr: Széchenyi István Egyetem, 496–505.

menetvonal, akár menetidőre, akár távolságra optimalizálunk. A magasabb pályasebesség természetesen eredményezi, hogy a menetvonalakat érdemes az alacsonyabb engedélyezett sebességű mellékvonalakról a lehető leggyorsabban a fővonalakra vezetni, ahol az út legnagyobb részét megteszik.

Azonban a pályasebesség nem az egyetlen oka annak, hogy ezen vonalakon jelentős forgalom bonyolódik, hiszen a minimális menetvonalhosszak ábráján is ezek a legforgalmasabbak (továbbá a 142. és a 108., valamint a 13., illetve a 150. sz. vonal egyes szakaszai is). Ez tehát azt is jelenti, hogy a hálózat földrajzi elrendeződése is az ezeken a vonalakon való közlekedésnek kedvez, függetlenül pályasebességtől, villamosítástól, vágányszámtól, tengelyterheléstől.

Érdemes megemlíteni a 25. sz. vonal egyvágányú Boba–Ukk szakaszát, amely mindkét súlyozásra nagyobb forgalmat látszik bonyolítani, mint ugyanezen vonal kétvágányú Boba–Celldömölk szakasza. Ez alapján a meglepő eredmény alapján érdemes lenne valós forgalmi adatok alapján megvizsgálni ezen szakasz kétvágányúsításának hatását a forgalomra, különösen mivel a 7441 km-es hálózatnak mindössze 16,38%-a, 1219 km kétvágányú.²⁵ Ezen érték az elmúlt másfél évtizedben mindössze 1%-ot javult.²⁶

Egy másik fejlesztési lehetőség a 108. sz. (Debrecen–Füzesabony) vonal, amely a 80. sz. és a 100. sz. fővonal között biztosít jó kapcsolatot. Bár jelenleg egyvágányú, villamosítatlan, 80 km/h engedélyezett sebességű vonal, a menetidők ábráján látszik stratégiai fontossága.²⁷ Ha megfelelő állapotú lenne a pálya, kiemelt szerepe lehetne a két csatlakozó fővonal zavarkezelésében.

Hasonló, ám bizonyos szempontból fordított helyzetet láthatunk a 82. sz. (Hatvan–Újszász) vonalon, amely a 80a/80. és a 120a. sz. vonal transzverzális kapcsolatát jelenti. Minimális menetvonalhosszakra ez nem preferált útirány, azonban a környező észak-déli vonalaknál magasabb pályasebessége miatt fontos kerülőirány lehetne, ha szintén kétvágányú, villamosított pálya lenne.

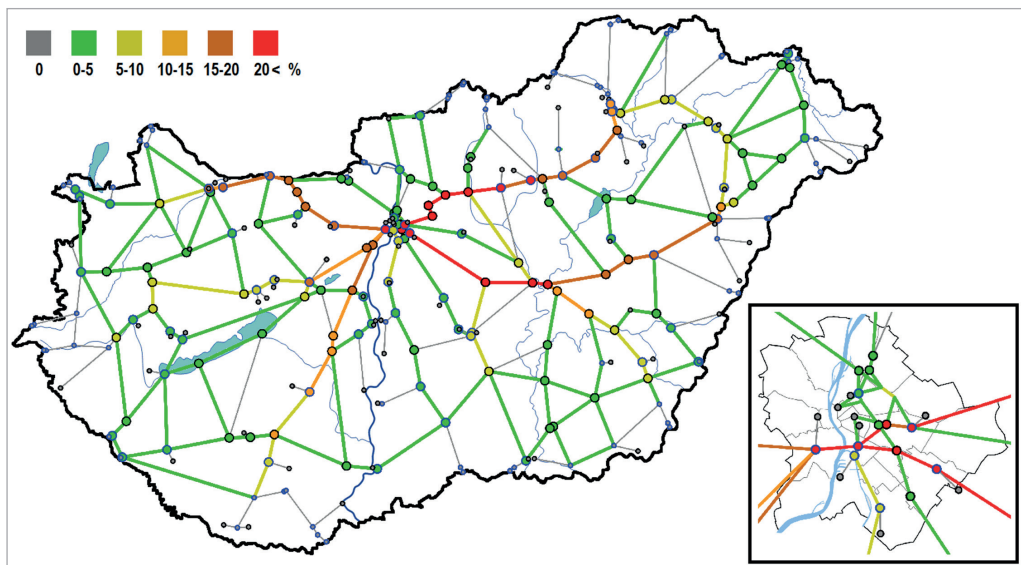
Kapcsolatköztiség – állomásszintű modell

Hasonlítsuk most össze a térközszintű modellből kapott eredményeket az állomásszintű modellből kapott korábbi eredményekkel! A 7. ábrán az állomásszintű modellből minimális menetvonalhosszakra kapott normált kapcsolatköztiség-értékeket láthatjuk, a 8. ábrán pedig a minimális menetidőkkel számítottat.

²⁵ Út- és vasúthálózat [é. n.]. KSH.

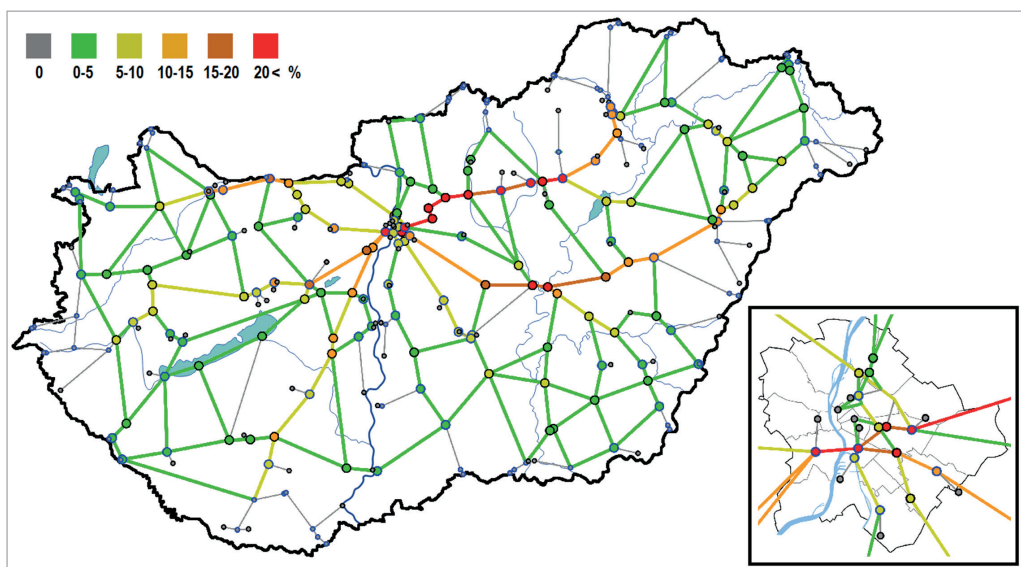
²⁶ SZÁSZI Gábor (2007): Magyarország közlekedési infrastruktúrájának fejlesztése napjainkban: Közút vagy vasút? *Katonai Logisztika*, 15(2), 32–59.

²⁷ SZÁSZI Gábor (2009b): Jász-Nagykun-Szolnok megye vasúthálózatának védelmi szempontú elemzése. *Szolnoki Tudományos Közlemények*, 13, 101–125.



7. ábra: A hálózati elemek normált kapcsolatköztisége minimális menetvonalhosszakra az állomásszintű modellben

Forrás: a szerző szerkesztése TÓTH 2017: 52–66. alapján



8. ábra: A hálózati elemek normált kapcsolatköztisége minimális menetidőkre az állomásszintű modellben

Forrás: a szerző szerkesztése TÓTH 2017: 52–66. alapján

Az elsőként szembevető dolog, hogy a forgalom sokkal egyenletesebben oszlik el, mint a térszintű modellben, hiszen abban kétszer annyi állomás szerepel, és földrajzi eloszlásuk is egyenletesebb. Ennek megfelelően az egyes vasútvonalak „preferált iránya” is meg-

jelenik a forgalom számszerű értékeiben. Például míg a 121. sz. (Békéscsaba–Kétegyháza–Mezőhegyes–Újszeged) vonal szakaszai az állomásszintű modellben természetesen homogének, a térközsintű modellben a Medgyesegyháza és Kétegyháza közötti szakasz mindkét súlyozásnál forgalmasabbnak adódik, mint a másik irányban. Ennek oka, hogy ez az irány esik a 120. sz. fővonal felé, ezért a mellékvonalon haladó menetvonalak ebben az irányban érik el hamarabb a magasabb (120 km/h) engedélyezett sebességű fővonalat.

Már ez az egyetlen példa is jól mutatja a sűrű, de lassú mellékvonali hálózat szerepét a Délkelet-Alföldön: az alacsony pályasebesség miatt nem valós alternatívák a fővonalak zavarakor, nem reális kapcsolatok a radiális fővonalak között.²⁸ Hasonló a helyzet a 154. sz. vonal Jánoshalma–Kiskunhalas szakaszán (ℓ), a 155. sz. vonal Jászszentlászló–Kiskunfélegyháza szakaszán (t), a 140. sz. vonal Kiskunfélegyháza–Csengele szakaszán (t), a 82. sz. vonal Portelek–Hatvan szakaszán (t) vagy a 30. sz. vonal Balatonszentgyörgy–Sávolgy szakaszán (ℓ , t).

Vonalszakaszok zavarának hatása a menetvonalakra – térközsintű modell

Korábban láttuk, hogy egy véletlenszerűen zavart vonalszakasz átlagosan csak nagyon kis növekményt okoz a hálózat átlagos úthosszában. Azonban ha nem az összes vonalszakasz átlagos hatását vizsgáljuk, hanem külön-külön, akkor sokkal árnyaltabb képet kapunk a hálózat viselkedéséről az egyes vonalszakaszok zavarának hatására. Ehhez meghatároztam az egyes pályaszakaszok forgalomból való kizárásakor azok hatását a hálózat egészére az okozott összmenetvonalhossz-, illetve összmenetidő-növekedésen keresztül. A $\Delta\ell_p$ illetve a Δt_i értéket ábrázolva a megfelelő vonalszakaszra a 9. és a 10. ábrát kapjuk.

A legjelentősebb növekményt nem meglepő módon a legforgalmasabb állomásköz, a Ferencváros–Kelenföld vonalszakasz (azaz a gyakorlatban az összekötő vasúti híd) kizárása okozza, amelynél ezek az értékek $\Delta\ell = 12,6\%$ és $\Delta t = 25,5\%$. Ez azt jelenti, hogy ezen állomásköz kiesése, megfelelő paraméterekkel rendelkező alternatív útvonal hiányában, a rajta a zavarmentes hálózatban áthaladó menetvonalak menetidejének átlagosan 50%-os növekedését okozza (hiszen az összes menetvonal fele halad itt keresztül).

Minimális menetidőkre a következő legnagyobb növekményt Füzesabony (7%), Kál–Kápolna (5,5%) és Hatvan (4,39%) állomás kiesése okozta. A 80. sz. vonal (amely ezen állomásokon halad át) egyes szakaszainak kizárása is jelentős növekményt okoz a *TNTT* értékében: a Kál–Kápolna–Füzesabony állomásköz 5,08%-ot, az Aszód–Tura állomásköz pedig 4,29%-ot. Érdemes megemlíteni, hogy ugyanakkor a Szolnok–Szajol állomásköz zavara, ahol az egyetlen kétvágányú villamosított Tisza-híd található, csak 2,34%-os növekményt okoz a *TNTT* értékében.

²⁸ TÓTH 2018: 118–132.