

Szemelvények a katonai műszaki tudományok eredményeiből V.

Hallgatói és oktatói kötet

Szerkesztette

Gőcze István és Padányi József



LUDOVIKA
EGYETEMI KIADÓ

Szemelvények
a katonai műszaki tudományok eredményeiből V. –
Hallgatói és oktatói kötet

Szemelvények a katonai műszaki tudományok eredményeiből V.

Hallgatói és oktatói kötet

Szerkesztette
Gócze István – Padányi József



LUDOVIKA
EGYETEMI KIADÓ

Budapest, 2025

Almási Csaba Sándor
Beller Balázs
Bencsik Dániel
Bencsik Gábor
Berek Lajos
Berek Tamás
Berger Ádám
Cimer Zsolt
Csanádi Győző
Csató Péter

Szerzők
Csurgai József
Dudás Zoltán
Hegedűs Ernő
Juhász Oszvald Viktor
Kakuja Izabella
Karches Tamás
Kátai-Urbán Lajos
Kavas László
Kriszbacher Gergő
Kuti Rajmund

Lucz Zsolt
Mészáros István
Munk Sándor
Orgoványi Péter
Papp Csenge
Répás József
Schmidt Miklós
Tóth Bence
Vas Tímea

Szakmai lektorok
Berek Tamás
Bíró Tibor
Földi László
Kirovne Rác Réka Magdolna
Padányi József
Palik Máttyás

Kiadja a Nemzeti Közszerzői Egyetem
Ludovika Egyetemi Kiadó
A kiadásért felel: Deli Gergely rektor
Székhely: 1083 Budapest, Ludovika tér 2.
Kapcsolat: kiadvanyok@uni-nke.hu

Felelős szerkesztő: Kilián Zsolt
Olvasószerkesztő: Csinta Áron
Tördelőszerkesztő: Kilián Zsolt
Korrektor: Nagy Judit

DOI: https://doi.org/10.36250/1266_00

ISBN 978-963-653-198-0

© A szerkesztők, 2025
© A szerzők, 2025
© A kiadó, 2025

Minden jog védve.

Tartalom

ALMÁSI CSABA SÁNDOR – CIMER ZSOLT – KÁTAI-URBÁN LAJOS A közúti veszélyesáru-szállítási káresemények vizsgálatának műszaki megalapozása	7
BELLER BALÁZS – DUDÁS ZOLTÁN A Reason-modell a 21. században – Meddig jó a svájci sajt?	23
BENCsik DÁNIEL – KARCHES TAMÁS A konténerizált szennyvíztisztító telep anyagáramon alapuló modellezésének fejlesztése	39
BENCsik GÁBOR – TÓTH BENCE A hadfelszerelési igények kielégítése magas fenyegetettségi szint mellett	55
BEREK TAMÁS – RÉPÁS JÓZSEF A magas automatizáltságú katonai és polgári közlekedési járművekben megtalálható digitális adatok hozzáférhetőségének és értelmezhetőségének kihívásai	67
BEREK LAJOS – RÉPÁS JÓZSEF – SCHMIDT MIKLÓS A célzott adatkinyerés szerepe a katonai és civil felhasználású közúti közlekedési járművek szakértői vizsgálatában	81
BERGER ÁDÁM – KÁTAI-URBÁN LAJOS – CIMER ZSOLT A veszélyes anyagokkal foglalkozó üzemi kármentők baleseti hatásokkal szembeli ellenállási képességének fejlesztése	97
CSANÁDI GYŐZŐ – MUNK SÁNDOR Az információmenedzsment tárgyanak komplexitása	115
CSATÓ PÉTER – KAVAS LÁSZLÓ Az alternatív üzemanyagok alkalmazásának logisztikai aspektusai a Magyar Honvédség rendszerében	139

JUHÁSZ OSZVALD VIKTOR – HEGEDŰS ERNŐ – TÓTH BENCE

Magyarország katonai repülőtereinek kapcsolódása a közúti hálózatra 159

KAKUJA IZABELLA – CSURGAI JÓZSEF

A pilóta nélküli légi járművek használatának kérdései a sugárzóanyaggal szennyezett bűnügyi és katonai helyszíneken 191

KRISZBACHER GERGŐ – TÓTH BENCE

A magyarországi villamosenergia-rendszer alaphálózati sérüléseinek hatása az ország nemzetközi energiafüggettségére 201

LUCZ ZSOLT – VAS TÍMEA

A szimulációs rendszereken alapuló képzés, kiképzés lehetőségei, valamint hatékonyságának vizsgálata a Magyar Honvédség légierő haderőnem fegyvernemeinél és szakcsapatainál 219

MÉSZÁROS ISTVÁN – CIMER ZSOLT – KÁTAI-URBÁN LAJOS

A fekvőbeteg-ellátással foglalkozó egészségügyi létfontosságú rendszerelemek komplex üzemeltetői biztonságának kutatása és fejlesztése, különös tekintettel az egészségügyi válsághelyzet-tervezési feladatok ellátására 233

ORGOVÁNYI PÉTER – KARCHES TAMÁS

A vízelosztó hálózatok hidrodinamikai hatékonyságának javítása geokódolási stratégiák mentén 251

PAPP CSENGE – KUTI RAJMUND

A közúti közlekedés és a balesetek környezeti hatásai 265

A kötet szerzői 277

Almási Csaba Sándor – Cimer Zsolt – Kátai-Urbán Lajos

A közúti veszélyesáru-szállítási káresemények vizsgálatának műszaki megalapozása

A veszélyes áruk helyzetváltoztatásából adódó veszélyhelyzetek megelőzése és kezelése a hivatásos katasztrófavédelmi szerv egyik alapfeladata. A veszélyesáru-szállítás rendkívüli eseményei megelőzésének alapvető eleme a balesethez vezető okok feltárása, dokumentálása, a megfelelő kockázatelemzési módszertan kidolgozása és a kockázati kommunikáció megalapozása. Az ilyen jellegű események kezelése rendkívül komplex feladat lehet, ahol az időtényező csökkentési lehetőségeinek vizsgálata messzemenően indokolt. Jelen publikáció a közúti veszélyesáru-szállítási balesetek okainak, következményeinek és bekövetkezési gyakoriságának vizsgálatával, a kockázatsökkentés lehetőségeivel, valamint a következménykezelés hatékonyságát növelő műszaki megoldásokkal kapcsolatos kutatást mutatja be.

Kulcsszavak: a közúti közlekedés biztonsága, fenntartható közlekedés, veszélyes áru, ADR

TECHNICAL BASIS FOR THE INVESTIGATION OF ROAD TRANSPORT INCIDENTS INVOLVING DANGEROUS GOODS

The prevention and management of emergencies arising from the movement of dangerous goods is one of the basic tasks of the professional disaster management authority. The identification and documentation of the causes leading to the accident, the development of an appropriate risk analysis methodology and the establishment of risk communication are essential elements in the prevention of incidents involving the transport of dangerous goods. The management of such incidents can be an extremely complex task, where the potential for reducing the time factor is highly justified. This paper presents research into the causes, consequences and frequency of road transport accidents involving dangerous goods, the possibilities for risk reduction and technical solutions to improve the effectiveness of consequence management.

Keywords: road safety, sustainable transport, dangerous goods, ADR

Bevezetés

A veszélyes anyagokkal kapcsolatos tevékenységek széles körét mára számos nemzetközi egyezmény szabályozza, ugyanakkor a baleset bekövetkezésének kockázata sosem csökkenthető nullára. Kiemelten igaz ez az áruk helyzetváltoztatásából

adódó veszélyhelyzetek kialakulására, ahol rendkívül nehezen jelezhető előre a helyszín, az időpont és a következmény.

A közúti veszélyesáru-szállítási balesetek bekövetkezési gyakoriságának vizsgálata, a balesetek okainak, következményeinek és a kockázatsökkentésnek a lehetőségei, valamint a következménykezelés hatékonyságát növelő műszaki megoldások és azok célszerű alkalmazása elengedhetetlen. A veszélyesáru-szállítás folytonosságának és zavartalanságának fenntartása kiemelt jelentőségű össz-társadalmi érdek.

A veszélyesáru-szállításból bekövetkezett balesetek kezelése rendkívül komplex feladat elé állíthatja a felszámolásukra rendelt első beavatkozó erőket, miközben komolyan próbára teheti a rendvédelmi szervekkel kapcsolatos közbizalmat is.

Az Egyesült Nemzetek Szervezete 17 fenntartható fejlődési célt (*Sustainable Development Goals, SDGs*) tűzött ki 2030-ra, amelyek közül a 3. cél „[a]z egészséges élet biztosítása és a jólét előmozdítása minden korosztály számára”. E célrendszer keretében található a „veszélyes vegyi anyagok, valamint a levegő-, víz- és talajszennyezés által okozott halálesetek és megbetegedések csökkentése (3.9)”.¹

Az EU vegyianyagimportjának értéke a 2002-es 97 milliárd euróról 2022-re 363 milliárd euróra nőtt, ami 6,8%-os átlagos éves növekedésnek felel meg. Ugyanebben az időszakban az export 152 milliárd euróról 553 milliárd euróra nőtt, ami 6,7%-os átlagos éves növekedést jelent. A 2002–2022 közötti időszakban az EU vegyianyag-kereskedelme folyamatosan nőtt, amely a 2002-es 55 milliárd euróról 2022-re 190 milliárd euróra emelkedett.²

A vegyianyag-kereskedelem növekedésével arra számíthatunk, hogy a jövőben a szállítási balesetek gyakorisága is emelkedik.

Megállapítható, hogy a közúti veszélyesáru-szállítási baleseteket feldolgozó szakirodalom nemzetközi és hazai viszonylatban hiányos, továbbá a vasúti és a folyami források sem frissültek jelentősen.

Az áruszállítási teljesítmények megoszlása és az EU vegyianyag-kereskedelmének dinamikája ismeretében, valamint a hiányos és elavult – elsősorban közúti – veszélyesáru-szállítási baleseti adatbázisok okán megalapozott a közúti veszélyesáru-szállítás során bekövetkező balesetek okaira, következményeire és bekövetkezési gyakoriságára irányuló folyamatos vizsgálat. Szükséges továbbá a pontos dokumentálás, valamint a kockázatelemzési eljárások bevezetése és a

¹ UN Department of Economic and Social Affairs [é. n.].

² Eurostat [é. n.].

kockázatsökkentő intézkedések alkalmazása, illetőleg a rendkívüli események kezelésének hatékonyságát célzó eljárási és műszaki megoldások vizsgálata.

Magyarországot földrajzi elhelyezkedése erőteljes áruforgalomnak teszi ki a keleti és déli országok irányába, illetve irányából, amelynek következtében a belföldi szállítások mellett nagy arányban jelen vannak a tranzitszállítmányok is. Közlekedési infrastruktúránk kulcsszerepet tölt be az ország gazdaságában. Jogos társadalmi szükséglet, hogy a veszélyesáru-szállítás mennyiségi növekedését a közlekedés biztonságának színvonala is követni tudja, valamint hogy a környezet terhelése ne fokozódjon. Ezért a veszélyes szállítmányok és a szállításokhoz kapcsolódó telephelyek rendszeres és következetes ellenőrzése, a balesetek kivizsgálása, valamint a feltárt szabálytalanságok szankcionálása az ellenőrző hatóságok első számú megelőzési feladatává vált. Nagyon lényeges kérdés a veszélyesáru-szállítás során bekövetkezett balesetek vizsgálatának szakszerű végrehajtása és a balesetek kivizsgálásával szerzett tapasztalatok értékelése. Kulcsfontosságú, hogy a veszélyes áru szállítása során bekövetkezett balesetek, események okait, következményeit és a megelőzés lehetséges módjait meghatározzák. A hatósági tevékenység fő célja az események katasztrófavédelmi szervek által megfelelő módszerrel történő kivizsgálása és dokumentálása, az üzemeltetők, szállítók figyelmének felhívása a hiányosságokra, és ha kellően indokolt, a jogszabály-módosítás kezdeményezése a további balesetek megelőzése érdekében.³

Az ipari balesetek megelőzése mellett fontos közbiztonsági kérdés a veszélyes létesítmények biztonságtechnikai rendszerekkel történő felszerelése is,⁴ amelyek meglétének és hatékonyságának vizsgálata szintén az iparbiztonsági hatóság feladata.

A közúti veszélyesáru-szállítás nemzetközi és hazai normarendszere, hatósági felügyelete

A Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Európai Megállapodást (*European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road, ADR*) 1957. szeptember 30-án írták alá Genfben, mellékleteivel 1968. január 29-én lépett hatályba. A Megállapodást eddig kétszer, először 1975-ben a szövegét, másodszer 2020-ban a címét módosították. A Megállapodás rövid

³ ÉRCES–VASS–VARGA 2023.

⁴ TÓTH 2024.

szövegének legfontosabb része a 2. cikk, amely szerint az „A” és a „B” Mellékletében foglalt feltételek szerint lehet szállítani azokat az anyagokat, amelyek nemzetközi szállítását az „A” Melléklet nem tiltja. Az „A” Melléklet az adott veszélyes árura, különösen annak csomagolására és bárcázására ír elő feltételeket, a „B” Melléklet az adott árut szállító jármű szerkezetére, felszerelésére és közlekedésére. Az ADR egymástól elválaszthatatlan „A” és „B” Mellékletét hatálybalépésük óta rendszeresen felülvizsgálják és módosítják.⁵

Magyarország az 1976 szeptemberében, Aszódon bekövetkezett, cseppfolyós-etilén-szállítmány-balesetet követően, 1979-ben csatlakozott a Megállapodáshoz. A Megállapodást hazánkban az 1979. évi 19. törvényerejű rendelet hirdette ki, és ez 1979. augusztus 18. napján lépett hatályba, továbbá a 20/1979. (IX. 18.) KPM rendelet írta elő a mellékletek belföldi alkalmazását.

Az 1979. évi 19. törvényerejű rendeletet 2020-ban módosították, miután az ENSZ erre szakosított szervezete a Megállapodás címéből eltávolította az „Európai” szót (a fentebb említett második módosítás). Ma hazánkban a Megállapodás szövegére vonatkozóan az 1957. szeptember 30-án létrejött, a *Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Európai Megállapodás (ADR) módosításáról szóló Jegyzőkönyv* és a *Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Megállapodás* (a továbbiakban: Megállapodás) egységes szerkezetben történő kihirdetéséről szóló, 508/2020. (XI. 18.) Korm. rendelet hatályos.

Az EU tagállamai számára ma egységesen kötelező érvényű a veszélyes áruk szárazföldi szállításáról szóló 2008/68/EK irányelv, a közúti, a vasúti és a belvízi szállításokra vonatkozó nemzetközi szabályok alkalmazása.

Hazánkban 2012. január 1-jén, az új Alaptörvénnyel egyidejűleg lépett hatályba a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról szóló 2011. évi CXXVIII. törvény (a továbbiakban: Kat. tv.).

A Kat. tv. nyomán jelentős változások következtek be az állami tűzoltóság és a polgári védelem 2000. január 1-jei integrációja óta. A modern magyar katasztrófavédelem 2012. január 1-je óta kiegészült egy azonos fontosságú ágazattal, az iparbiztonsági feladatok rendszerével, a lakosság élet- és vagyónbiztonságának megóvása, a nemzetgazdaság védelme, a magyar ipar biztonságának növelése és garantálása érdekében. A Kat. tv. egyik legfőbb alaptétele, hogy a katasztrófák elleni védekezés nemzeti ügy, tehát az állam szerepét növelni és a megelőzési jelleget erősíteni kell. A katasztrófavédelem alapvető rendeltetése a veszélyeztető tényezők azonosításával, a kockázatelemzéssel, az információszolgáltatással,

⁵ UNECE [é. n.].

a tájékoztatással, a felkészítéssel, az értesítéssel, a riasztással, a hatósági döntés kialakításával, a beavatkozással, a rehabilitációval, valamint a veszélyeztetés és az elvégzett intézkedések közötti arányosság biztosításával valósul meg. A katasztrófavédelem feladatrendszere egy irányban és elemeiben egymással időben nem felcserélhető periódusban mozog, amelyek a megelőzés, a mentés és a kárelhárítás, a helyreállítás-újjaépítés.⁶

A Megállapodás belföldi alkalmazását illetően hazánkban ma a Megállapodás „A” és „B” Melléklete kihirdetéséről, valamint belföldi alkalmazásának egyes kérdéseiről szóló 284/2023. (VI. 30.) Korm. rendelet, valamint a Megállapodás „A” és „B” Mellékletének belföldi alkalmazásáról szóló 39/2021. (VII. 30.) ITM rendelet hatályos.

A közúti közlekedésről szóló 1988. évi I. törvény alapozza meg az egyes hatóságok önálló ellenőrzéssel és a bírságotlasi eljárás lefolytatásával kapcsolatos jogosultságát. A bírságotlással kapcsolatos eljárás lefolytatását a törvény az ellenőrzési jogosultsághoz igazodóan határozza meg. Ellenőrzésre jogosult szerv a közlekedési hatóság, a rendőrség, a vámhatóság, valamint a katasztrófavédelmi hatóság.

Veszélyes anyagokat szállító közúti, vasúti, vízi, légi járművek balesete, valamint veszélyes ipari üzemekben, kórházakban, hulladéklerakókban és egyéb, veszélyes létesítményekben bekövetkező rendkívüli események során olyan anyagok kerülhetnek a környezetbe, amelyek veszélyt jelentenek az egészségre, a környezetre vagy az anyagi javakra, szélsőséges esetben veszélyeztethetik a társadalom és a gazdaság egy részének normális működését. Ma hazánkban a veszélyes anyagokkal kapcsolatos balesetek során a lakosság és a beavatkozó állomány védelmét, valamint a környezet további, akut károsodásának megelőzését a hivatásos katasztrófavédelmi szerv erő- és eszközállományába tartozó Katasztrófavédelmi Mobil Labor (KML) látja el. A KML a veszélyes anyagok kiszabadulása során azok beazonosításával, terjedésének nyomon követésével és előrejelzésével foglalkozik, emellett a veszélyes áruk szállításának hatósági felügyeletét is ellátja. A KML egy káresemény során javaslatot tesz az első beavatkozó veszélyhelyzeti szolgálatok (tűzoltók, mentők, rendőrök) biztonságos munkafeltételeinek megteremtésére, valamint a lakosság és a környezet védelme érdekében szükséges intézkedések bevezetésére. A KML rendelkezik a veszélyhelyzet értékelését szolgáló kiinduló adatok gyűjtéséhez, rendszerezéséhez és feldolgozásához, valamint az egyes anyagok beazonosításához szükséges műszaki és személyi feltételekkel, továbbá

⁶ MUHORAY 2016.

folyamatos kapcsolatot tart és együttműködik a társszervekkel, részt vesz a mentesítési feladatok koordinációjában.

A tudományos problémák és a kutatási módszertan bemutatása

A veszélyes áruk szállítására vonatkozó nemzetközi szabályozási keretrendszer (*ADR, RID, ADN, IMDG Code* és *IATA DGR*) meghatározza többek között az osztályozásra, a csomagolásra vagy a járművekre vonatkozó műszaki követelményrendszert, a szállítható mennyiségeket, a személyzet képzésére vagy a fuvarokmány-bejegyzésekre vonatkozó előírásokat. Nem ad ugyanakkor konkrét útmutatást a kockázatkezelés módszertanára. A Seveso III. irányelv előírásai szigorú kockázatkezelésre vonatkozó követelményeket határoznak meg, amelyek nem terjednek ki a szállításra vagy az ideiglenes tárolásra. Az ISO 39001 szabvány, a Közúti és Közlekedésbiztonsági Irányítási Rendszer (*Road Traffic Safety Management System, RTSMS*) meghatározza a közúti kockázatok csökkentésére szolgáló iránymutatásokat. A közúti közlekedésbiztonság javítása az életminőség javítása szempontjából stratégiai jelentőségű kérdés.⁷

Nancy P. Button és Park M. Reilly⁸ a közúti veszélyesáru-szállítás során bekövetkező anyagkiszabadulások és tüzesetek előre jelezhetőségét és ismétlődésének gyakoriságát kutatta. A tanulmányban kísérletet tettek annak meghatározására, hány esemény várható egymilliárd járműkilométerenként.⁹ Hideo Ohtani és Masayuki Kobayashi¹⁰ a Japánban bekövetkezett és egyre emelkedő számú veszélyesáru-szállítási balesetek miatt vizsgálni kezdte a bekövetkezések okait. A balesetek számának növekvő tendenciájára nem sikerült magyarázatot adni, amiért főleg a felhalmozott adatok minőségét és megbízhatóságát tették felelőssé.¹¹

A veszélyesáru-forgalom és az ezzel járó kockázat előre jelezhető növekedéséből következően szükségessé válik a veszélyes áruk közúti szállításával kapcsolatos balesetek vizsgálata, a vizsgálati eredmények dokumentálása és rendszerezése, továbbá a kapcsolódó kockázatelemzési eljárások és kockázatcsökkentő intézkedések, valamint az eseménykezelés eszközrendszerének fejlesztése, amely önálló tudományos problémakörként azonosítható.

⁷ CONCA–RIDELLA–SAPORI 2016.

⁸ BUTTON–REILLY 2000.

⁹ BUTTON–REILLY 2000.

¹⁰ OHTANI–KOBAYASHI 2005.

¹¹ OHTANI–KOBAYASHI 2005.

A veszélyes áruk leggyakoribb kockázati tényezője a gyúlékonyság, amely főveszélyként a rakományok összmenységének több mint felénél jelentkezik. A gyúlékonyság és a tűzveszély azonban jóval túlmutat a főveszélyen, amely a szállított áruk többségét jellemzi, például a nem gyúlékony anyagok közé tartozó lítiumion-akkumulátorok elterjedése a speciális tűzveszély okán egyre növekvő tűzoltói kihívást jelent.¹²

Nem elegendő ugyanakkor kizárólag a gyúlékony tulajdonságra exponálni. A veszélyesáru-szállítási balesetek eltérő típusú veszélyeket jelentenek a közlekedésben részt vevők és a felszámolásukra kirendelt erők, első beavatkozók életére és egészségére. Többfajta veszélyeztetettség egyszerre is jelentkezhet. A balesetek vizsgálata során látható, hogy alapvetően a fizikai, a tűz- és a hő-, valamint a mérgező hatásokkal kell számolni.

Hosszabb időintervallum (2012–2022) vizsgálatával, a hazai közúti veszélyesáru-szállítási balesetek bekövetkezési gyakoriságának csökkentését célzóan, ez idáig nem rendszereztek az előidéző okokat, nem határozták meg a kritikus útszakaszokat, időszakokat és a szállított anyagokat, továbbá nem dolgoztak ki specifikus kockázatelemzési eljárást.

Tudományos problémaként fogalmazható meg továbbá, hogy olyan tároló-/szállítóeszközben lévő és olyan mennyiségű, közúton szállított veszélyes áru esetében, ahol az anyag bármely módon kiszabadulva képes súlyos baleseti veszélyt okozni (tehát elsősorban tartányos szállítás során), a hatályos nemzetközi szabályozás (ADR) nem mindenhol támogatja a beavatkozás első lépéseit a káresemény során, valamint kidolgozatlanok a – súlyos káresemény felszámolását lerövidítő – tartányos kármentési eljárás műszaki és eljárási feltételei.

A 284/2023. (VI. 30.) Korm. rendelet alapján a közlekedésért felelős miniszter, az atomenergia-felügyeleti szerv elnöke, a közlekedési hatóság, a Közlekedési Alkalmassági és Vizsgaközpont Nonprofit Korlátolt Felelősségű Társaság, az atomenergia-felügyeleti szerv, a bányafelügyelet, a katasztrófavédelmi hatóság, a műszaki biztonsági hatóság, a megfelelőségértékelési tevékenységet végző szervezet és az élelmiszerlánc-felügyeleti szerv garantálja a veszélyesáru-szállítással kapcsolatos tevékenységek biztonságát. A fenti rendelet a katasztrófavédelmi hatóság hatáskörébe delegálja a veszélyes áruk szállításával kapcsolatos balesetek kivizsgálását, az előidéző okok és felelősök meghatározását.

A veszélyes áruk szállításával kapcsolatos balesetek kivizsgálása nemcsak a felelősök meghatározása és az előidéző okok feltárása érdekében, hanem az ilyen

¹² BALOGH–KOZMA–VASS 2019.

típusú események bekövetkezési gyakoriságának csökkentése, valamint a jövőben bekövetkező események hatékonyabb kezelése érdekében is történik.

A közúti veszélyesáru-szállítással kapcsolatos rendkívüli események kivizsgálása, a vizsgálati eredmények rendszerezése és dokumentálása, a kockázatelemzési módszertan meghatározása, valamint a következtetések levonása a megfelelő műszaki fejlesztési irányok és eljárásrendek azonosítása érdekében folyamatos kutatási feladatot jelent.

E kutatási feladat elemeként az alábbi három tudományos probléma határozható meg.

Elsőként, a közúti veszélyesáru-szállítási balesetek bekövetkezési gyakoriságának csökkentése érdekében nem történt meg az előidéző okok vizsgálata és rendszerezése hosszabb időtáv (egy évtized) viszonylatában, nem határozták meg a kritikus útszakaszokat, időszakokat és árukat, valamint kidolgozatlan – a megfelelő megelőző eljárási és műszaki intézkedések meghatározása érdekében – a kockázatelemzési módszertan.

Másodsorban, olyan tároló- és/vagy szállítóeszközben lévő – és olyan mennyiségű – közúton szállított veszélyes áru esetében, ahol az anyag bármely módon kiszabadulva képes súlyos baleseti veszélyt okozni (elsősorban tartányos szállítás során), a hatályos nemzetközi szabályozás (ADR) nem minden esetben támogatja a hatóságok beavatkozásának első lépéseit a közúti káresemény során.

Harmadsorban megfogalmazható, hogy olyan tároló- és/vagy szállítóeszközben lévő – és olyan mennyiségű – közúton szállított veszélyes áru esetében, ahol az anyag bármely módon kiszabadulva képes súlyos baleseti veszélyt okozni (elsősorban tartányos szállítás során), kidolgozatlanok a – súlyos káresemény felszámolását lerövidítő – tartányos kármentési eljárás műszaki és eljárási feltételei.

Fenti körülmények és tudományos problémák alapján a következő hipotézisek állíthatók fel.

Első hipotézisként megfogalmazható, hogy a 2012 és 2022 között Magyarországon bekövetkezett, közúti veszélyesáru-szállítási balesetek okainak, következményeinek és frekvenciájának elemző vizsgálatával, valamint rendszerbe foglalásával, továbbá kockázatelemzési módszertan felállításával megalapozható a súlyos balesetek bekövetkezési gyakoriságának csökkentése. Vélelmezhetően a vizsgált időszak rendkívüli eseményei a hivatásos katasztrófavédelmi szerv által jól dokumentáltak, különösen az előidéző okok, a kritikus útszakaszok, időszakok, valamint veszélyes áruk vonatkozásában.

A második hipotézis szerint a veszélyes árut közúton szállító tartányjárművek megjelölésére vonatkozó hazai és nemzetközi rendelkezések nem minden esetben

támogatják az első beavatkozó veszélyhelyzeti szolgálatok helyszíni információ-szerző és -felderítő tevékenységét, különösen a szállítóeszköz felborulásával járó események során. Ezért feltételezhető, hogy a közúti ágazat nagy fokú leterheltsége ellenére is kialakítható olyan szállításbejelentési rendszer, amellyel a beavatkozási taktika megválasztásához kritikus információk már a baleset bekövetkezése előtt a veszélyhelyzeti szolgálatok rendelkezésére állhatnak, legalább a legveszélyesebb anyagok esetén. A veszélyes áruk közúti szállításának balesete több, mentésben részt vevő szerv és hatóság bevonását és együttműködését igényelheti, ezért a folyamatos és időszerű információcsere elengedhetetlen az egyes feladatok hatékony megszervezése és megoldása szempontjából.¹³

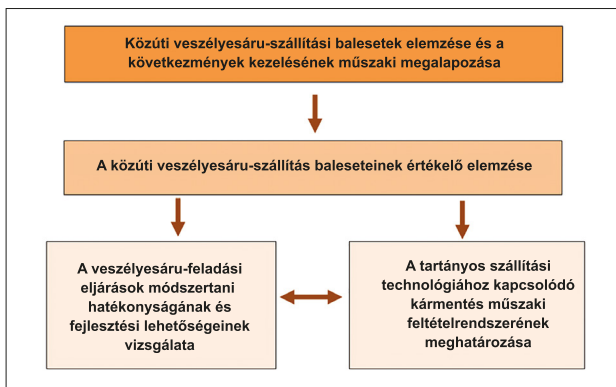
A harmadik hipotézis szerint a veszélyes áruk tartányos szállítási technológiáira kialakítható a kármentés metodikája. Vélelmezhető ugyanakkor, hogy a kivitelezés a küldeménydarabos kármentési technológia „kvázi egyszerű” mintájára nem megvalósítható, mert nem létezik olyan tartánykialakítás, amely valamennyi tulajdonságú veszélyes áru elszállítására alkalmas. Ugyanakkor feltételezhető, hogy a tartányok és tartányban szállítható veszélyes áruk műszaki tulajdonságainak, valamint a velük kapcsolatos balesetek bekövetkezési gyakoriságára vonatkozó adatoknak a figyelembevételével azonosítható a legalkalmasabb kármentő tartány.

A kutatási célkitűzések a tudományos problémák meghatározása alapján fogalmazhatók meg. Az első kutatási célkitűzés a 2012 és 2022 között Magyarországon bekövetkezett súlyos közúti veszélyesáru-szállítási balesetek okainak, következményeinek és frekvenciájának elemző vizsgálata és rendszerbe foglalása az alkalmazható kockázatelemzési módszertan kidolgozása, a súlyos balesetek bekövetkezési gyakoriságának csökkentése és a kockázatcsökkentő intézkedések meghatározása érdekében, különös tekintettel a kritikus útszakaszokra, időszakokra és árukra.

Második kutatási célkitűzésként fogalmazható meg annak igazolása vagy elvetése, hogy a veszélyes árut közúton (elsősorban tartányos technológiával) szállító járművek esetében a feladási eljárásokra vonatkozó hazai és a nemzetközi előírások minden helyzetben képesek-e támogatni az első beavatkozó szolgálatok helyszíni információszerző-felderítő munkáját.

A harmadik kutatási célkitűzés a legalkalmasabb kármentő tartány azonosítása a tartányok és a tartányban szállítható veszélyes áruk műszaki tulajdonságainak, illetve a velük kapcsolatos balesetek bekövetkezési gyakoriságára vonatkozó adatoknak a vizsgálatával, amellyel megalapozható a veszélyes áruk tartányos szállítási technológiáira vonatkozó kármentési metodika (1.1. ábra).

¹³ BEREK–FÖLDI–PADÁNYI 2020.



1.1. ábra. A kutatási feladatok és célkitűzések összegzése

Forrás: a szerzők szerkesztése

A kutatás során, a kutatási célkitűzések teljesítése érdekében az alábbi kutatási módszerek alkalmazhatók:

- adatgyűjtés esettanulmányok feldolgozásával;
- kvalitatív és kvantitatív kutatási módszerek;
- empirikus vizsgálatra épülő elemző, értékelő és logikai tevékenység, amely a vizsgált területre vonatkozó adatokra és információkra terjed ki;
- a releváns nemzetközi és hazai szakirodalom, valamint jogi normarendszer kutatása és tanulmányozása;
- más országokban alkalmazott módszerek, eljárások tanulmányozása, hazai megoldásokkal történő összevetése és értékelése;
- más országok kutatásainak és tudományos eredményeinek nyomon követése, feldolgozása, tanulmányozása és értékelése;
- nemzetközi tudományos konferenciákon a kutatott témában szakmai konzultáció a terület mértékadó tudományos és szakmai képviselőivel;
- a tudományos módszerek részét képező továbbá az analízis, a szintézis, a dedukció és a rendszerszemléletű tudományos igényű megközelítés.

A kutatás során az alábbi elhatárolási szempontok szükségesek:

- a kutatási téma multidiszciplináris, azonban elsősorban a közlekedés fenntarthatóságának és biztonságának minél magasabb fokú megvalósulására exponál;
- a kutatásnak nem képezik tárgyát az egyes tűz megelőzési előírások;

- a kutatásnak nem képezik tárgyát más környezetvédelmi jellegű előírások;
- a kutatásnak nem képezik tárgyát munkavédelmi jellegű előírások;
- az elemző és értékelő munka során kizárólag azokat a rendkívüli eseményeket kell figyelembe venni, amelyek során a veszélyes áru kiszabadult, kiszabadulásának közvetlen veszélye állt fenn, vagy az anyag eltávolítása (átfejtése) vált szükségessé az esemény kezeléséhez;
- a kutatásnak nem képezik tárgyát azok a veszélyesáru-szállítási események, ahol anyagkiszabadulás nem történt, az anyag átfejtésére nem kellett intézkedni, továbbá nem vettük számításba a mentességek hatálya alatti szállítás során és a veszélyesáru-telephelyeken, logisztikai központokban, továbbá veszélyes üzemekben bekövetkezett rendkívüli eseményeket.

A kutatómunkát elsősorban a BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság veszélyesáru-szállítási balesetekre vonatkozó adatbázisa, másodsorban nyílt forrású adatfeltárások alapozhatják meg.

A kutatómunkát nehezítette, hogy a járművezetők vezetési idejét rögzítő eszköz műszaki felügyelete, valamint a vezetéssel eltöltött idő elemzése és értékelése más hatóság hatáskörébe tartozik, de a humán tényezőre visszavezethető események elemzéséhez segítséget nyújthatnak.

A kutatás eredményeinek és következtetéseinek összegzése

A közúti veszélyesáru-szállítás súlyos baleseteinek elemző vizsgálata területén megtörtént a 2012 és 2022 között Magyarországon bekövetkezett események rendszerezése és elemzése. A tudományos munka keretében elvégeztük a vizsgált időszakban bekövetkezett eseményeket kiváltó okok, az események ismétlődése szempontjából kockázatos útszakaszok, vármegyei katasztrófavédelmi igazgatóságok, kockázatos időszakok, valamint leginkább érintett anyagok összegyűjtését. Az elemző és értékelő munka alapján alkalmazható kockázatelemzési módszertant kell kidolgozni, annak érdekében, hogy egységes metodika alapján legyenek meghatározhatók azok az intézkedések, amelyekkel csökkenthető a közúti veszélyesáru-szállítási súlyos események bekövetkezési gyakorisága.

A közúti veszélyesáru-szállítás súlyos baleseteinek kivizsgálása során keletkezett dokumentumok tanulmányozásával azt a következtetést vontuk le, hogy az eseményeket előidéző okok jól meghatározhatók és megkülönböztethetők. Az összes vizsgált szállítási esemény mintegy kétharmada járművezetői hiba

következménye, amely jól elkülöníthető a technikai meghibásodástól és az ADR szabályainak be nem tartásától. A bekövetkezett események mindössze negyedét okozta műszaki meghibásodás. Az ADR szabályainak be nem tartása a vizsgált események legcsekélyebb arányában volt azonosítható kiváltó okként. A bekövetkezett balesetek helyszínének vizsgálatával megállapítható, hogy vannak olyan útszakaszok, ahol a súlyos káresemények bekövetkezésének ismétlődésére számítani kell. A vizsgálati eredmények alapján így beazonosíthatók az ismétlődő, súlyos események kezelésében leginkább érintett vármegyei katasztrófavédelmi igazgatóságok. Jól azonosíthatók továbbá azok a kockázatos időszakok, amikor a súlyos balesetek bekövetkezésének ismétlődésére számítani lehet. A vizsgált események több mint fele hétfőn és kedden következett be, súlyos baleset jellemzően a reggeli-délelőtti időszakban. Az elemző vizsgálat alapján továbbá megállapítható, hogy a súlyos balesetekben a szállítható anyagok (relative) szűk köre érintett, a kiszabadult veszélyesáru-mennyiségnek azonban mintegy háromnegyed része volt vízi környezetre veszélyes anyag. Megállapítható továbbá, hogy indokolt és célszerű a közúti veszélyesáru-szállításra vonatkozó kockázatelemzés elvégzése olyan útvonalak vonatkozásában, ahol a lakosság, a különleges létesítmények (alagút, híd, kritikus infrastruktúra, műemlék stb.) vagy a környezetvédelmi területek veszélyeztetése fennáll. Javasolt a többlepcsős, közúti veszélyesáru-szállításra vonatkozó veszélyeztetési értékelési módszer alkalmazása.

A veszélyes áruk közúti szállítási káreseményének kezelése vonatkozásában megállapítottuk, hogy a szállítóeszközök feladási eljárásai potenciálisan nem támogatják az első beavatkozó veszélyhelyzeti szolgálatok felderítő munkáját, különösen a jármű oldalra borulása során, késleltetve a szállítási információkhoz való hozzáférést. Ezt követően meghatároztuk a tartányos szállítóeszközök felborulási ismétlődését annak megállapítása érdekében, hogy milyen gyakorisággal kerülnek takarásba a szállítóeszköz oldalai. A vizsgált időszakban a bekövetkezett események során megközelítőleg minden második szállítóeszköz felborult, valamint a szállítóeszközök háromnegyede tartányos technológia volt. A feladási eljárások vizsgálatával egyben megállapítható, hogy a veszélyes áruk vasúti, belvízi és légi szállítási mintájára az árutovábbítási művelet adatainak és részleteinek előzetes, hatóság részére történő bejelentésével a mentés/tűzoltás taktikájának megválasztásához szükséges kritikus információk már a baleset bekövetkezése előtt a veszélyhelyzeti szolgálatok rendelkezésére állhatnak. Közúti veszélyesáru-szállítást megelőző bejelentési kötelezettséget jelenleg nem ír elő jogszabály. A Megállapodás nem szerződő felei által alkalmazott veszélyesáru-szállítási szabályzatok összehasonlító elemzése alapján megállapítható továbbá, hogy a

jelölési metodika nem opcionális módon írja elő a szállított anyagra vonatkozó információk feltüntetését a szállítóeszköz elején és hátulján. Célszerű olyan feladási eljárások meghatározása, amelyek a veszélyes árut közúton szállító tartányjárművek oldalra borulásával járó események során is azonos szinten garantálják az első beavatkozó veszélyhelyzeti szolgálatok szállítási információhoz való hozzáférését, elsősorban az előzetes elektronikus bejelentési rendszer kidolgozásával, valamint a szállítóeszközök elején és hátulján történő jelölések kötelező és megkerülhetetlen elhelyezésével. Hazai viszonylatban nem kerülhető meg a feladási eljárásokat érintő részletszabályozás kiterjesztése a mezőgazdasági vontatóval vagy lassú járművel vontatott pótkocsin történő veszélyesáru-szállítási tevékenységre sem.

A vizsgált időszakban bekövetkezett események szállítási technológiák szerinti mintázata azt mutatja, hogy a tartányos szállítási technológiához kapcsolódó kármentés műszaki feltételrendszerének meghatározása és kialakítása messzemenően indokolt. Ehhez szükséges volt az egyes anyagokkal kapcsolatos bekövetkezési gyakoriság és az egyes anyagok tulajdonságaihoz kapcsolódó műszaki feltételrendszer összevetése annak érdekében, hogy meghatározható legyen a legalkalmasabb kármentő eszköz, és konkrét javaslatot lehessen kidolgozni a tartány rendszerbe állításának módjára. Kutatási célkitűzésként fogalmazták meg annak a meghatározását, hogy a kis mennyiségben kiszabadult vagy a kiszabadulás veszélyével fenyegető veszélyes áru kármentési megoldásai kiterjeszthetők-e a nagyobb tömegben fennálló anyagkiszabadulás veszélyének semlegesítésére. A küldeménydarabos kármentés elvét és módszertanát magasabb szintre emelve szükséges tehát vizsgálni a tartányos volumenű kármentési eljárást. A vizsgált időszak alapján megállapítható, hogy a tartányos szállítási technológiát érinti a legtöbb baleset, a vizsgált események közel kétharmada tartányos szállítási technológiát érintett. A küldeménydarabos szállítási technológia az események egyharmadát, az ömlesztett technológia elenyésző mértékben volt érintett. A rendkívüli eseményekben leggyakrabban érintett veszélyesáru-osztályok azonosításával az a következtetés vonható le, hogy az első beavatkozó szolgálatok, a lakosság és a környezet veszélynek való kitettsége mérsékelhető egy kármentő céllal készenlétben tartott tartány rendelkezésre állásával. Megállapítható ugyanakkor, hogy nincs olyan tartány, amely valamennyi típusú veszélyes anyag elszállítására alkalmas. A szállított áruk veszélyessége mértékének és kezelhetőségük nehézségeinek az összevetésével, valamint az egyes szállítási technológiák vizsgálatával megállapítható, hogy a gázok szállítása jelenti a legnagyobb kockázatot. A legalkalmasabb kármentőtartány-technológiaként a mobil tartány határozható meg, elsősorban intermodalitási képességei miatt. Veszélyes áruk kombinált szállítása

során azonban számolni kell az átrakodás és az ideiglenes tárolása során kisebb-nagyobb következményekkel járó balesetek előfordulásával is. A költségterhek csökkentésének érdekében javaslat fogalmazható meg arra vonatkozóan, hogy a kármentő célú mobil tartány kettős üzemeltetésű legyen, amely a szakfeladattal foglalkozó gazdasági társaságok számára történő bérbeadás és a hivatásos katasztrófavédelmi szerv számára történő rövid időn belüli rendelkezésre bocsátás viszonylatában valósulna meg.

Összegzés

A közúti veszélyesáru-szállítási balesetek bekövetkezési gyakoriságának csökkentése érdekében a szerzők rendszerbe foglalták és meghatározták a 2012 és 2022 között hazánkban bekövetkezett, súlyos közúti veszélyesáru-szállítási balesetek okait, következményeit és bekövetkezési gyakoriságát, a legkockázatosabb útszakaszokat, időszakokat és anyagokat. Javaslatot dolgoztak ki egy kockázatelemzési metodika alkalmazására vonatkozóan, amely alapján megalapozott kockázatcsökkentő intézkedések fogalmazhatók meg.

A szállítóeszközök oldalra borulásával járó események hipotetikus és valós példáján keresztül bizonyítottuk, hogy a veszélyes árut közúton szállító tartányjárművek megjelölésére vonatkozó hazai és nemzetközi rendelkezések nem minden esetben teszik lehetővé az első beavatkozók azonnali tájékoztatását, ezáltal időhátrányt okozhatnak a mentés során. A veszélyes áruk vasúti, belvízi és légi feladásának mintájára javaslat fogalmazódott meg az elektronikus szállításbejelentési rendszer kialakítására vonatkozóan, amely alkalmazható annak érdekében, hogy a mentés taktikájának megválasztásához szükséges kritikus információk már a baleset bekövetkezése előtt a veszélyhelyzeti szolgálatok rendelkezésére álljanak. Javaslatot fogalmaztak meg továbbá a közúti szállítóeszközök megjelölésének beavatkozást támogató alkalmazására vonatkozóan.

A küldeménydarabos szállítási technológiában alkalmazott kármentő eljárások kiegészítése céljából meghatároztuk a veszélyes áruknak azt a csoportját, amelyekre tartányos kármentő technológiát és eljárást kidolgozni indokolt, valamint az azonosítás érdekében a szükséges műszaki feltételrendszert és a fejlesztés lehetséges műszaki irányait.

A kutatás tudományos eredményei több területen is felhasználhatók.

A közúti veszélyesáru-szállítási balesetek okait, következményeit és bekövetkezési gyakoriságát vizsgáló tanulmány eredményei felhasználhatók a

közlekedés fenntarthatóságát és biztonságát előmozdító műszaki követelmények kidolgozásánál hazai és nemzetközi viszonylatban, alkalmazhatók a hivatásos katasztrófavédelmi szerv, a rendőrség, a környezetvédelmi hatóság, a közlekedési hatóság káreset-megelőzési és veszélyhelyzet-kezelési stratégiáinak kidolgozása során, valamint integrálható mindazon képzések tananyagaiba, amelyek részét képezi a közlekedés fenntarthatósága és biztonsága.

A veszélyes árut szállító eszközök feladási eljárásaival foglalkozó rész alátámaszthatja az előzetes hatósági bejelentési kötelezettség közötti közlekedési ágazatban történő bevezetésének, valamint magasabb szintű (ADR) módosításoknak a szükségességét is. Javaslatként megfogalmazható az UNECE ITC WP 15 ülésén történő előterjesztése.

A tartányos kármentés műszaki megoldásával foglalkozó rész felhasználható a BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság káreset-megelőzési és veszélyhelyzet-kezelési stratégiáinak kidolgozása során, valamint a közlekedés biztonságát felügyelő hatóságok műszaki fejlesztési irányainak kidolgozásánál.

Felhasznált irodalom

- 1/1975. (II. 5.) KPM–BM együttes rendelet a közúti közlekedés szabályairól
1/2002. (I. 11.) Korm. rendeletet a veszélyes áruk közúti szállításának ellenőrzésére vonatkozó egységes eljárásról
122/1989. (XII. 5.) MT rendelet az egyes veszélyes árukat szállító közúti járművek útvonalának kijelöléséről
156/2009. (VII. 29.) Korm. rendelet a közúti árufuvarozáshoz, személyszállításhoz és a közúti közlekedéshez kapcsolódó egyes rendelkezések megsértése esetén kiszabható bírságok összegéről, valamint a bírságolással összefüggő hatósági feladatokról
1979. évi 19. törvényerejű rendelet a Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Európai Megállapodás kihirdetéséről
2008/68/EK irányelv a veszélyes áruk szárazföldi szállításáról
2011. évi CXXVIII. törvény a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról
234/2011. (XI. 10.) Korm. rendelet a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról szóló 2011. évi CXXVIII. törvény végrehajtásáról
25/2014. (IV. 30.) NFM rendelet a veszélyes áru szállítási biztonsági tanácsadóról
284/2023. (VI. 30.) Korm. rendelet a Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Megállapodás „A” és „B” Melléklete kihirdetéséről, valamint a belföldi alkalmazásának egyes kérdéseiről
312/2011. (XII. 23.) Korm. rendelet a hivatásos katasztrófavédelmi szerv eljárásai során a veszélyes áruk vasúti és belvízi szállításának ellenőrzésére és a bírság kivetésére vonatkozó egységes eljárás

- szabályairól, továbbá az egyes szabálytalanságokért kiszabható bírságok összegéről, valamint a bírsággal összefüggő hatósági feladatok általános szabályairól
- 313/2014. (XII. 12.) Korm. rendelet a veszélyes áru légi szállításával kapcsolatos katasztrófavédelmi hatósági ellenőrzésről és a bírság kivetésének szabályairól
- 39/2021. (VII. 30.) ITM rendelet Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Megállapodás (ADR) „A” és „B” Mellékletének belföldi alkalmazásáról
- 508/2020. (XI. 18.) Korm. rendelet az 1957. szeptember 30-án létrejött, a Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Európai Megállapodás (ADR) módosításáról szóló Jegyzőkönyv és a Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Megállapodás egységes szerkezetben történő kihirdetéséről
- 7/2011. (III. 8.) NFM rendelet a mezőgazdasági vegyszerek és üzemanyagok mezőgazdasági vontatóval vagy lassú járművel vontatott pótkocsival történő közúti szállításáról
- Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Európai Megállapodás (ADR)
- BALOGH Róbert – KOZMA Sándor – VASS Gyula (2019): A vasúti veszélyesáru-szállítás hatósági felügyeletével kapcsolatos tapasztalatok értékelése a bírságjogszabály változásának következtében. *Műszaki Katonai Közöny*, 29(3), 21–34. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2019.3.2>
- BEREK, Tamás – FÖLDI, László – PADÁNYI, József (2020): The Structure and Main Elements of Disaster Management System of the Hungarian Defence Forces, with Special Regard to the Development of International Cooperation. *AARMS*, 19(1), 17–26. Online: <https://doi.org/10.32565/aarms.2020.1.2>
- BUTTON, Nancy P. – REILLY, Park M. (2000): Uncertainty in Incident Rates for Trucks Carrying Dangerous Goods. *Accident Analysis & Prevention*, 32(6), 797–804. Online: [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(00\)00003-8](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(00)00003-8)
- CONCA, Andrea – RIDELLA, Chiara – SAPORI, Enrico (2016): A Risk Assessment for Road Transportation of Dangerous Goods: A Routing Solution. *Transportation Research Procedia*, 14, 2890–2899. Online: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.407>
- ÉRCES Gergő – VASS Gyula – VARGA Ferenc (2023): Láthatatlan tűzvédelem, *Védelem Tudomány*, 8(különszám). Online: <https://ojs.mtak.hu/index.php/vedelemtudomany/article/view/13890>
- Eurostat [é. n.]: *Production and International Trade in Chemicals*. Online: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Production_and_international_trade_in_chemicals
- MUHORAY Árpád (2016): *Katasztrófa megelőzés I.* Budapest: NKE Szolgáltató.
- OHTANI, Hideo – KOBAYASHI, Masayuki (2005): Statistical Analysis of Dangerous Goods Accidents in Japan. *Safety Science*, 43(5–6), 287–297. Online: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2005.06.003>
- TÓTH, Levente (2016): Limitation in the Application of High-Resolution Image Sensors. *National Security Review*, (2), 109–122.
- UN Department of Economic and Social Affairs [é. n.]: 3. *Ensure Healthy Lives and Promote Well-Being for All at All Ages*. Online: https://sdgs.un.org/goals/goal3#targets_and_indicators
- UNECE [é. n.]: *About the ADR*. Online: www.unece.org/trans/danger/publi/adr/adr_e.html

Beller Balázs – Dudás Zoltán

A Reason-modell a 21. században – Meddig jó a svájci sajt?

A repülésbiztonság területén számtalan olyan modell ismert, amely a légi közlekedési események szakmai vizsgálata, illetve a megelőző munka során a bekövetkezett esemény megértését, a miértekre adott válaszok megtalálását segíti elő. Mégis az elmúlt 30 évben kevés olyan elméleti modell született, amely közérthetően próbál magyarázatot találni a balesetek okaira és az ezek körül felmerült kérdésekre. Talán egyetlen elmélet igyekszik tudományos és egyben közérthető lenni, ez a Reason-féle svájcisajt-modell. A tudományos körökben az idők folyamán kísérletek történnek az elméletek megcáfolására, így ez a modell is a kritikák kereszttüzébe kerül. A cikk célja, hogy bemutassa a modellel szemben megjelenő főbb kritikákat, és ezekkel szemben igazolja időtállóságát.

Kulcsszavak: svájcisajt-modell, repülésbiztonság, kritika, légi közlekedési esemény

THE REASON MODEL IN THE 21ST CENTURY: HOW LONG IS SWISS CHEESE GOOD FOR?

In the field of aviation safety, there are numerous models that can be used in the professional investigation of aviation incidents to assist understanding the event and find answers to the reasons why it occurred. Yet over the last 30 years, a model has been developed, that attempts to explain the reasons for the occurrence in a way that is understandable to the lay public. This is Reason's Swiss-cheese model. In scientific circles, all theories are questioned and criticised over time. The aim of this article is to present, without claiming to be exhaustive, the main critical ideas against this model and to try to show why, regardless of these critiques, this theory is timeless.

Keywords: Swiss-cheese model, flight safety, critique, aviation incident

Bevezetés

A repülésbiztonságért folytatott munka egyik alapvető célja a légi közlekedési események elemzése annak érdekében, hogy a tanulságok által a jövőben bekövetkező hasonló események valószínűsége csökkenthető legyen. A légiközlekedés-biztonság területén több tudományos modell áll rendelkezésre annak leírására, hogy az

egyres légi közlekedési események milyen módon következnek be, vagyis milyen tevékenységek, történések járultak hozzá a nem kívánt végkimenetelhez. Az egyik ilyen általánosan elfogadott modell a James T. Reason-féle svájcisajt-modell, amelyet a szerző többek között a *Managing the Risk of Organizational Accidents* című könyvében tett közzé a 90-es években.

Azóta a szakterületen ez mindenki által elismert és világszerte elterjedt koncepció, amely egyben a repülésbiztonságról való gondolkodás alapja. Az elmúlt csaknem harminc év rohamos fejlődése ugyanakkor felveti annak kérdését, hogy vajon jó-e még a „svájci sajt”? Megfelelő-e ez a modell a napjainkban a légi közlekedésben alkalmazott többszörösen összetett, humán-szoftver-hardver alapú rendszerekkel bekövetkező események leírására.

A cikk célja ennek megfelelően megkérdőjelezni, megvizsgálni, hogy a repülés területén tapasztalható technikai fejlődés mennyire hagyta változatlanul azokat a körülményeket, amelyeken a Reason-modell alapul.

A svájcisajt-modell leírása

A Reason által publikált svájcisajt-modell – az emberi hibát a középpontban tartó modellként – az 1990-es évektől terjedt el a repülésbiztonság területén. Alapvetően három fontos funkciót tudhat magáénak, egyrészt légi közlekedési balesetek esetén kivizsgálási metódusként, másrészt rendszerek diagnosztikai eszközkeként, valamint gondolkodási keretként lehet használni.

A modell mögött álló elmélet alapgondolata az, hogy a megelőzés érdekében – egyfajta eseményvizsgálati kronológián keresztül – az emberi hiba okainak felkutatására kell helyezni a hangsúlyt. Olyan mély összefüggéseket kell felderíteni, amelyek a hiba evolúcióját lépésről lépésre feltárják. Így napvilágra kerülhetnek azok a rejtett tényezők is, amelyek a szervezeti kultúrában, szabályokban vagy egyéb tényezőkben konzerválva előre kódolják az emberi hiba lehetőségét. Emellett el kell fogadni – mint az emberi hiba értelmezésének modern felfogását –, hogy a légi közlekedés rendszere alapvetően nem biztonságos, tehát kockázatokat hordoz magában, és az emberi hiba nem a rendszer véletlenszerű káros működésének eredménye, hanem a rendszerben megbúvó egyéb problémák következménye lehet.¹

¹ DUDÁS 2017: 76.

Reason kutatásainak központi témája egyfajta modern biztonságfilozófiai megközelítés,² amelyben fontos szerep jut a különböző hibamodellek vizsgálatának.

Ezek közül az egyik a *személyközpontú modell*, amely az emberi hibára, mint pszichológiai tényezőre tekint. A hibát mentális folyamatok működésére, önfejlésre, figyelmetlenségre, feledékenységre vezeti vissza. Ennélfogva a hiba legfőbb okát a hibázóban (végrehajtó személy) találja meg, a megoldást pedig annak megnevezésében, megbüntetésében, megszegyenítésében, megfélemlítésében látja. A felmerülő problémákat újabb és újabb szabályozási aktusokkal oldja meg. Ennek az a hátránya, hogy a hibát eltávolítja a kontextusából, ezért a mélyebb összefüggések feltárása tekintetében hatástalan.³

A következő a *jogi központú modell*, amely szerint a légi közlekedési szakemberek felelősek a tetteikért, ezért nem szabad hibázniuk. Bár hibák ritkán következnek be, de bármily csekély is egy hiba, éppen elegendő ahhoz, hogy kárt okozzon. A légi közlekedési eseményekhez vezető hibák gondatlanság és vakmerősködés következményei, amely tettek példás büntetést érdemelnek. Ennek az a hátránya, hogy mivel a legtöbb hiba nem vezet légi közlekedési eseményhez, a korrekció érvényesüléséhez ki kell várni egy súlyosabb esetet, azaz nem érvényesül a repülésbiztonság területén fontos proaktív, illetve prediktív tevékenység eredménye.⁴

A harmadik elgondolás a *rendszerközpontú modell*, amely szerint a tökéletlenség az emberi természet része. A káros hatások nem felderíthetetlen rejtélyes tényezőkből fakadnak. Az első vonalbeli (végrehajtó) szakemberek nem okozói, hanem örökösei a rendszer tökéletlenségének. A megelőző tevékenység alapja a védelmi vonalak (technikai rendszerek, képzés, szabályok) erősítésén és a humán faktorra leselkedő csapdák semlegesítésén alapul.⁵

A Reason-modell olyan rendszerszemléletű elméleten alapul, amely a légi közlekedési események bekövetkezését lineáris egyenes mentén fogja fel, amelyben a kiindulópont egy-egy veszélyforrás, a végpont pedig a bekövetkezett baleset, azaz nem kívánt esemény.

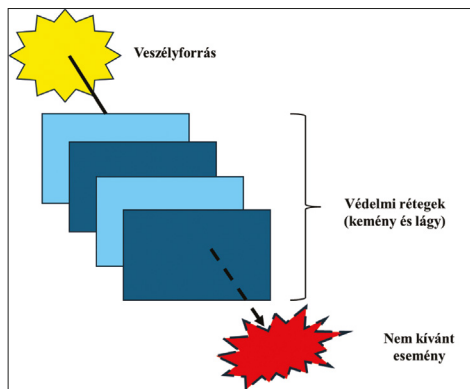
Ezt az egyenest baleseti röppályának vagy egyenesnek nevezi. Az idealizált világban ezen röppálya elé különböző szűrőket, fékeket, akadályokat lehet helyezni, úgynevezett többrétegű mélységben tagozódó védelmet lehet kialakítani.

² Annak a szemléletmódnak az elfogadása, hogy a légi közlekedési események során elkövetett hibák nem a rendszer rossz működéséből fakadnak, hanem a rejtett hibák következményei.

³ DUDÁS 2017: 76.

⁴ DUDÁS 2017: 76.

⁵ DUDÁS 2017: 76–77.

2.1. ábra. *Idealizált mélységi védelem*

Forrás: REASON 1997: 9 alapján a szerzők szerkesztése

Ennek a védelemnek a feladata megakadályozni, hogy a veszélyforrásból kiinduló baleseti röppálya végbemenjen, azaz a baleset bekövetkezését el lehessen hátrítani.

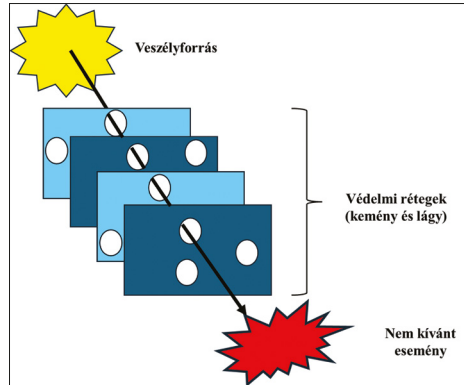
Ezek a védelmi rétegek lehetnek „kemény” és „lágy” természetűek. Reason a „kemény” védelmi rétegek vagy más néven korlátok alatt olyan technikai be-
rendezéseket ért, mint az automatizált biztonsági rendszerek, a fizikai akadályok, a veszélyjelző és figyelmeztetőrendszerek.⁶

A „lágy” védelmi rétegek közé sorolta az emberi és a „papíralapú” eljárás-
rendek kombinációját, úgymint a jogszabályi és szabályozói háttérrel, az eljárási szabályokat, a kiképzést, a felügyeleti eljárásrendeket vagy praktikusán akár a munkafolyamatok átadási-átvételi eljárásrendjét két műszakváltás között. Ide, a puha védelmek közé tartozik még a szakszolgálati engedélyek, a tanúsítványok kiadása, a hatósági felügyelet megvalósulásának módszertana, valamint a legkritikusabb szegmensként az első vonalbeli üzemeltetőkre vonatkozó eljárásrendek kialakítása, különösen a magas automatizáltsági fokú rendszerek vonatkozásában.⁷

Az idealizált világban ezek a védelmi rétegek teljesen intaktak, teljes védelmet nyújtanak a nem várt események bekövetkezésével szemben. A 2.1. ábrán látható, hogy a veszélyforrásból kiinduló baleseti röppálya nem jut át az első védelmi rétegen, ezáltal az ábrán szaggatottal jelzett nem kívánt (például légi közlekedési) esemény nem következhet be. A védelmi rétegek bármelyike képes megállítani a baleseti egyenest.

⁶ REASON 1997: 8.

⁷ REASON 1997: 8.



2.2. ábra. A svájcsajt-modell

Forrás: REASON 1997: 9 alapján a szerzők szerkesztése

Reason szerint a valóság ettől eltérő. A védelmi rétegek sosem zárnak tökéletesen, mindig találhatók bennük hiányosságok vagy szimbolikusan tekintve lyukak, amelyeken a baleseti egyenes keresztül tud jutni, át tud törni a következő védelmi rétegre, adott esetben pont az azon lévő lyukon keresztül a harmadik védelmi vonalig, és így tovább.

A modell nagyon jól szemlélteti azt, hogy nincs tökéletes kemény, sem tökéletes puha védelem. A mégoly alapos szabályozás és kialakított eljárásrend, adott esetben tökéletes automatizáltság, kiképzés vagy technikaiveszély-jelző és figyelmeztető-rendszer sem képes ezt megvalósítani.

Ahogy a 2.2. ábrán is megfigyelhető, a baleseti egyenes akadálytalanul hatol át a hiányos védelmi rétegeken, és így a nem kívánt esemény – a repülésben valamilyen légi közlekedési esemény – bekövetkezik. A védelmi rétegeken akár több lyuk is lehet, de amennyiben a rétegek közül akár egy is olyan helyen találkozik a baleseti egyenessel, ahol a hiányosság nem áll fenn, akkor a nem kívánt esemény az adott pillanatban nem következhet be.

Reason szerint a védelmi rétegek nem állandóak, nem helyhez kötöttek, hanem folyamatosan mozognak, változtatják helyüket, keresztmetszetüket. Emellett eltávolíthatók is, azaz a baleseti egyenes útjába helyezhetők. Szemléltetve olyanakká tűnhetnek, mint egyfajta mozgó képek, amelyek „önkéntesen léptethetők ki és be a baleseti egyenes útjába”.⁸ Egyes védelmi vonalak szándékosan is eltávolíthatók, például kalibrálási feladatok, műszaki, karbantartási feladatok vagy tesztelés

⁸ REASON 1997: 9.

során vagy hiba bekövetkezése, illetve szándékos normasértés esetén.⁹ Emellett a védelmi rétegeken képződő lyukak száma, mérete és helye is változhat a feladatot végrehajtó személy tevékenysége és a helyi körülmények alapján.¹⁰ Az elmélet néhány – a rendszerműködés biztonsági kockázatát csökkentő – védelemmel, vagy ahogy Reason említi, „kerítéssel” is számol. Ezek először az emberi hibák ismétlődésének kiküszöbölésére irányuló *képzések*, másodszor az ugyanilyen okból alkotott *szabályok*, harmadszor pedig az emberi hibák kiküszöbölésére, a munkaterhelés csökkentésére vagy valamilyen fizikai védelem megvalósítására képes *technológiák*.

A svájci sajt szeletein keletkezett hiányosságok hibákat jelképeznek, amelyek lehetnek *aktív hibák* vagy látens körülmények okozta úgynevezett *rejtett hibák/körülmények*. Az *aktív hiba* a végrehajtó személy által elkövetett emberi hiba vagy szándékos normasértés, amelynek közvetlen hatása van a rendszer biztonságára.

Dudás tanulmányában az aktív hibákat¹¹ a végrehajtókra és a szakmai tényezőkre vezeti vissza. Négy fő hibát különböztet meg:

- szabályzati hiba: a szabályok nem egyértelműek vagy nem léteznek;
- kiképzési hiba: a szabály létezik, de nem ismert;
- vezetői hiba: a szabály ismert, de nem tartatják be;
- egyéni hiba: a szabály ismert, de nem tartják be.¹²

A repülést vagy más kockázatos rendszert működtető emberi tevékenység olyan véletlen emberi hibákhoz, illetve szándékos normasértésekhez, negatív hatású eseményekhez vezethet, amelyek oka túlmutat az egyénen, az egyén pszichológiai állapotán és felelősségén. Ezek a rendszeren létrejövő *rejtett hibák és körülmények* azok, amik szemléletesen az emberi szervezetben tanyát verő állandó kórokozókhoz (patogének) hasonlíthatók. A rejtett hibák – ahogy a kórokozók is – minden rendszerben jelen vannak, akár éveken keresztül képesek lappangani, mielőtt a pillanatnyi helyi körülmények egy aktív hiba által felszínre nem kerülnek, és elő nem segítik a nem kívánt esemény, azaz baleset bekövetkezését. Egy rendszeren belül a rejtett hibák lehetnek például a gyenge tervezés következményei, a felügyelet hiányosságai, a fel nem tárt gyártási problémák vagy karbantartási hibák,

⁹ Ilyen védelmi réteg eltávolítása játszott többek között szerepet a csernobili atomerőmű-katasztrófa bekövetkezésében.

¹⁰ REASON 1997: 9.

¹¹ Dudás doktori értekezésében dinamikus hibaként hivatkozott az aktív hibákra.

¹² DUDÁS 2007: 20.

a kidolgozatlan eljárások, az esetlen automatizálások, a képzési hiányok vagy akár a nem megfelelő szerszámok és berendezések okozta negatív tényezők.¹³

Reason szerint az aktív hibák és a rejtett hibák közötti különbség alapvetően két, a kockázatos tevékenységet megvalósító szervezetet érintő különbségtétel alapul. Az első a hatás kiváltásának idejét jelenti. A rejtett hibákat éveken keresztül hordozhatja magában a rendszer észrevétlenül. Anélkül, hogy bármilyen jellegű problémát okoznának. Történhet mindez egészen addig, ameddig a körülmények úgy nem alakulnak, hogy az események láncolata áttöri a védelmi rétegeket. A másik különbség, hogy a hibák elkövetői milyen szinten helyezkednek el a szervezetben. Az aktív hibák elkövetői a végrehajtók (az ember-gép rendszer elemei) közül kerülnek ki, míg a rejtett hibák alapvetően a szervezet magasabb szintjein bújnak meg, és alapvetően a gyártással, a szabályozással és az irányítási feladatokat ellátó ügynökségekkel hozhatók összefüggésbe. A rejtett hibák emellett növelhetik az aktív hibák bekövetkezési valószínűségét olyan helyi tényezők, körülmények előállításával, amelyek elősegítik az emberi hibák és normasértések bekövetkezését, illetve súlyosbíthatják a nem kívánt események következményeit, mivel jelentős hatással bírhatnak a rendszerek biztonságára, védelmi rétegeire, berendezéseire.¹⁴

Reason kutatásai során arra a következtetésre jut, hogy a biztonságirányítási erőfeszítéseket a rejtett hibák felderítésére és kiküszöbölésére kell összpontosítani, és nem az aktív hibákra. Meglátása szerint minden balesetelemzés valószínűleg a rejtett hibákat, körülményeket tárja fel, és minél mélyebb a vizsgálat, annál nagyobb hangsúlyt kell fektetni ezeknek a tényezőknek a megismerésére.¹⁵

Az összetett rendszerek működése során bekövetkezett események, balesetek elemzése során több esetben bebizonyosodik,¹⁶ hogy mindig található olyan aktív hiba, amelyre visszavezethető az események láncolata, ugyanakkor minden rendszernél jelen lehetnek azon gyengeségek, amelyek már a rendszer összeállításakor, működése megkezdése előtt bekerültek, úgymond „beterveződtek” a rendszerelemek közé. Ezek láthatatlanul meglapulnak, és gyakran korrigálatlanul maradnak, így később és hosszú időn keresztül fejtik ki hatásukat.

¹³ REASON 1997: 10.

¹⁴ REASON 1997: 11.

¹⁵ LAROUZEE – LE COZE 2020: 3–4.

¹⁶ Erre volt példa a csemobili RBMK reaktor katasztrófája, ahol egyrészt az operátorok inaktívták a védelmi rendszerek jelentős részét az elérni kívánt cél érdekében, majd rosszul mérték föl, rosszul azonosították a reaktor működési állapotát, amely végső soron a reaktor leolvadásához és a nyomott vizes reaktorban végbemenő gőzrobbanáshoz vezetett.

Reason kutatásai emellett arra is rámutatnak, hogy a légi közlekedési tevékenység végrehajtása során olyan többszörösen összetett, egymásra ható rendszer alakul ki, amelyben bármely szereplő tevékenysége kihatással van más szereplők tevékenységére.¹⁷ Ez azt jelenti, hogy a rendszerben tevékenykedők hibái vagy a rendszerben kódolt rejtett hibák hatással vannak a rendszer többi szereplőjének tevékenységére és esetleges hibázására is. Reason svájcisajt-modellje a modern rendszerközpontú biztonság szemlélet egyik példája, amely az emberi hiba központba helyezésével természetesnek fogja fel a hibázást, azt nem a nem kívánt esemény okának, hanem távolabbi tényezők következményének tekinti. Erre figyelemmel bátorít a hibák feltárására, az eseteket hibáztatási szándék, felelőskeresés nélkül elemzi és dokumentálja. Ez a szemléletmód segít a megelőzésben, a nagyobb súlyú légi közlekedési események bekövetkezése előtt a mindennapokban előforduló eltérések szintjén képes a biztonságot fenyegető veszélyforrásokat azonosítani és kezelni.¹⁸

A svájci sajt kritikája

A svájcisajt-modell alkalmazása a légi közlekedési események vizsgálatánál hasznos és megfelelő eszköz, hiszen alkalmas az eseményfolyam megragadására és leírására. A modell nagy sikert ért el közérthetősége és szemléletessége miatt, ugyanakkor a kockázatok elemzése mellett nem vette figyelembe a légi közlekedési események analizálására is alkalmas lineáris hibaesemény-modellekre¹⁹ jellemző méretet, bonyolultságot. A modell gyakorlati alkalmazása során viszonylag hamar keletkeztek bizonyos kritikák, amelyek a modell használhatóságára, illetve az alkalmazók hiányosságaira próbáltak rámutatni.

Az egyik kritikai pont a svájcisajt-modell alkalmazási lehetőségeinek mélységét érinti. A EUROCONTROL Kiválósági Központ külön tanulmányt készített 2006-ban a svájcisajt-modell felülvizsgálatára, amelyben elsősorban ATM-szempontról vizsgálták meg a Reason-féle modell alkalmazhatóságát a légi közlekedési események kivizsgálása során. Az EUROCONTROL megfogalmazása szerint a baleseteknek sokféle mérete, alakja és formája van, ezért naivitás azt remélni, hogy egy modell vagy egyfajta magyarázat általánosan alkalmazható lesz minden egyes

¹⁷ DUDÁS 2017: 78.

¹⁸ DUDÁS 2017: 80.

¹⁹ *Linear chain of fault event model* (LCFM); LCFM-modellek többek között: hibafa, eseményfa, Isikawa-diagram, bowtie-modell.

esemény leírására. Egyes balesetek valóban egyszerűek, és ezért csak egyszerű magyarázatokat és egyszerű modelleket igényelnek. Más balesetek összetettek, és összehasonlítható modelleket és módszereket igényelnek az elemzéshez és a megelőzéshez. A baleseti modellek fejlődését olyan esetek kényszerítették ki, amelyek szembeszálltak a jelenlegi gondolkodásmóddal. Az EUROCONTROL szakemberei fokozatosan szembesültek azzal, hogy a változékonyság összefüggéseinek következtében olyan modellekre van szükség, amelyek a baleseteket mind analitikusan, mind előrejelzőként képesek figyelembe venni.

Egy új modell bevezetése azonban nem feltétlenül jelenti azt, hogy a már meglévők elavulttá váltak vagy válnak. Inkább arra szolgál, hogy rávilágítson erősségeikre és gyengeségeikre, és ezáltal bizonyos értelemben megmutassa, hogy mikor kell használni azokat, és mikor nem.²⁰

Ebből a szempontból az EUROCONTROL szakemberei szerint is a Reason-féle modell vitathatatlan értékkel bír mint kommunikációs eszköz, mint heurisztikus magyarázó vagy képzésben alkalmazható eszköz. Mint ilyen, mostanáig is jelentős hatással bírt a balesetek megértésére, és ezáltal a balesetek elemzésének és megelőzésének gyakorlati megközelítésére is. Sikeresen alkalmazták a balesetelemzés és a megelőző mérések eszközeként, bár a felbontás szintje nem megy olyan messzire, mint más modellek esetében. Ez azonban összességében nem feltétlenül hátrány, mivel az elemzés nagyobb pontossága gyakran az eredmények kisebb bizonyosságával jár együtt.²¹

A svájci sajtó nem részletes baleseti modell vagy részletes elmélet arról, hogy egy összetett társadalmi-technikai rendszerben a funkciók és entitások sokasága hogyan hat egymásra és függ egymástól. Ugyanakkor ez nem csökkenti a kommunikációs eszközként betöltött értékét, de korlátozhatja az elemzésben és a proaktív mérések támogatásaként való felhasználását. A Reason-féle modellt nem azért fejlesztették ki, hogy ilyen értelemben részletes modell legyen, ezért nem indokolt azzal vádolni, hogy nem ért el valamit, amit soha nem is akart elérni.²²

További kritikai észrevétel az emberi hibák és a rejtett körülmények közötti egyensúly megtalálásának kérdése. Dudás értekezése szerint egyes légi közlekedési balesetvizsgáló személyek az események vizsgálata során többnyire az első vonalbeli végrehajtók által elkövetett aktív hibákra fókuszálnak, azért, mert a stratégiai, döntéshozói szinten fennálló látens, rejtett körülmények kevésbé kézzelfoghatók, illetve a technikai biztonságot szavatoló rendszerek tevékenységét

²⁰ EUROCONTROL 2006: 21.

²¹ EUROCONTROL 2006: 21.

²² EUROCONTROL 2006: 21.

konstansnak tekintik. Ezáltal a légi közlekedési esemény kivizsgálása során az egyes végrehajtó személyek hibáztatása, felelőssége nagyobb teret kaphat, anélkül, hogy megállapítást nyerne a repülést és a repülésbiztonságot stratégiai szinten megalapozó üzembentartó személyek felelőssége.²³ Ezzel a kritikával Reason elgondolása egyértelműen szembehelyezkedik, ugyanakkor az általános tapasztalat az, hogy elsősorban a magasabb szintű döntéshozók részéről mindig nagy a nyomás a személyi felelősség megállapítására, még abban az esetben is, amikor a végrehajtó személy hibája egyértelműen kódolva volt a szervezet felépítésében, döntéshozatali rendszerében vagy éppen az eredménykényszer, megfelelési kényszer kiépülésében.

A harmadik kritikus észrevétel az aktív hibákon belül a végrehajtó által elkövetett szándékos normasértések kérdése. A szakmai tapasztalatok szerint az előírások megsértése a légi közlekedésben nem túl rendszeres, de előfordulhatnak az eljárásrendektől való szándékos eltérések.²⁴ Ahogy korábban már leírtuk, ezen normasértések, jogsértések a szervezeti hiányosságok (műszakvezetői döntések), a vállalati intézkedések (felső vezetői döntések), a nem megfelelő védekezés és a veszélyes cselekedetek pszichológiai előzményei miatt következhetnek be.

Maurino és munkatársai publikációjukban keretet adtak a normasértések megértéséhez, és ezeket a biztonságos működési gyakorlatoktól való szándékos vagy hibás eltérésként definiálták.²⁵ Megjegyzik, hogy a készségalapú szinten elkövetett normasértések a szakképzett cselekvések repertoárjának részét képezik, és hogy ezek a cselekvések gyakran a „sarkok levágásával”, eljárások rövidítésével, azaz időtakarékossgal járnak, és leginkább rutinszerűen, nem aktívan reagáló környezetben hajthatják végre azokat. Megkülönböztetnek szabályalapú szinten elkövetett normasértéseket, amelyek általában olyan szándékos cselekedetek, amelyeket abban a hitben hajtanak végre, hogy nem járnak rossz következményekkel. Az ilyen normasértések a költség-haszon kompromisszumok eredményei, tehát ezekben az esetekben az előnyök meghaladják a költségeket. Emellett léteznek a tudásalapú szinten elkövetett normasértések, amelyek egy ritka, de betanult helyzet váratlan bekövetkezése vagy az egyénileg ismert helyzetek valószínűtlen kombinációja miatt tett lépések eredményeként történnek.²⁶

²³ DUDÁS 2007: 20.

²⁴ A szerzőknek az állami célú légi közlekedési balesetek közigazgatási hatósági vizsgálata során szerzett személyes tapasztalata.

²⁵ MAURINO et al. 1995.

²⁶ MAURINO et al. 1995: 16–21.

A fentiek alapján a kérdés ott merül fel, hogy adott esetben vajon a normasértés vezethet-e légi közlekedési esemény során olyan eredményre, amely a körülmények összjátéka miatt csak úgy oldható meg kisebb veszteséggel, ha a leírt normáktól eltérve, szándékosan azokat megszegve cselekszik a végrehajtó személy. Milyen lehet az ilyen normasértéseknek a megítélése, konzekvenciája?

Ilyen esemény volt a US Airways 1549-es járatának légi közlekedési balesete, amely során madárral való ütközést követően mind a két hajtómű leállt, és a légi jármű kényszerleszállást hajtott végre a Hudson folyó vizére. Az Egyesült Államok polgári légiközlekedés-biztonsági szervezete (*National Transportation Safety Board, NTSB*) által készített baleseti jegyzőkönyv alapján a légi jármű parancsnoka az alacsony sebesség, az alacsony magasság miatt nem tudta befejezni a két hajtómű leállása esetére előírt ellenőrző lista lépéseit, ugyanakkor a hajtóművek tolóerejének elvesztését követően a lista figyelmen kívül hagyásával elindította a légi jármű segédhajtóművét, ezáltal lehetővé téve, hogy megfelelő energia álljon rendelkezésre az Airbus A-320-214 típusú repülőgép (az elektromos rendszer, a hidraulikarendszer üzemeltetéséhez) manőverezéséhez. Ezt követően a légi jármű parancsnoka a vízre érkezés esetére az eljárásrendben szereplő *Flap 3* konfiguráció helyett a *Flap 2* konfigurációt használta a szárnymechanizáció beállításánál – ívelőlap és orrsegédszárny –, amely döntését azzal indokolta, hogy személyes tapasztalatai alapján az előírt konfiguráció nem csökkentette volna annyira az átesési sebességet, mint amennyire növelte volna a légi jármű légellenállását, ami miatt nem lett volna elegendő mozgási energia a kilebegtetés végrehajtására, azaz a vízre érkezést megelőzően a vízszintes és a süllyedési sebesség biztonságos értékre csökkentésére.²⁷ A normasértés ebben az esetben a légi közlekedési esemény következményeinek súlyosságát jelentősen csökkentette. A fedélzeten tartózkodó 155 személyből 5 fő súlyos, 95 fő kisebb sérüléseket szenvedett, 55 fő pedig nem

²⁷ *Aircraft Accident Report. Loss of Thrust in Both Engines After Encountering a Flock of Birds and Subsequent Ditching on the Hudson River. US Airways Flight 1549. Airbus A320-214. N106US. Weehawken, New Jersey. January 15, 2009* 2010: 53–56; az NTSB az eseményt követően javasolta, a Szövetségi Légiközlekedési Hatóság (Federal Aviation Authority, FAA) dolgozzon ki, és vezessen be átfogó iránymutatásokat a vészhelyzeti és különleges esetekre vonatkozó ellenőrző listák megtervezésére és kidolgozására. Az iránymutatásoknak figyelembe kell venniük az ellenőrző lista kritikus pontjainak sorrendjét (például a segédhajtómű beindításának időpontja), az optimalizáló, különleges eset behatárolását elősegítő kizárások használatát, hogy csökkentsék annak kockázatát, hogy a repülőszemélyzet tagjai nem megfelelő ellenőrző listán mennek végig, vagy az ellenőrző lista egy részén ragadnak, emellett hatóság határozza meg az ellenőrző lista hosszát, az ellenőrző lista részletességének szintjét, az ellenőrző lista kitöltéséhez szükséges idő mennyiségét és a repülőszemélyzet mentális terhelésének szintjét.

sérült meg.²⁸ A sérülések jelentős része abból adódott, hogy az alacsony repülési magasság miatt a légiutas-kísérőknek nem állt rendelkezésre megfelelő idő ahhoz, hogy a vízre szállásra teljes mértékben felkészítsék a kabint és az utasokat.

További kritikai észrevételként jelenik meg, hogy a svájcisajt-modell nem Reason által kidolgozott elmélet, mint ahogy a modellben alkalmazott mélységi védelem kialakítása sem. Larouzee és Le Coze²⁹ szerint Reason a modell kidolgozásakor a mélységi védelem koncepcióját John Wreathall munkájával erősítette meg. Wreathall atomenergiai mérnök volt, 1981-ben találkozta egy emberi hibával foglalkozó konferencián. Ismeretségük közös gondolkodásban, kidolgozói munkában csúcsosodott ki, amelynek eredménye az 1987-ben kialakított első *szervezeti baleseti modell* volt. Ebben az elgondolásban Wreathall normatív modellt dolgozott ki minden termelő szervezet számára. A modellben öt elem jelent meg: a politikai döntéshozók (tervezők és felső vezetők), a részlegekre (karbantartás, képzés, üzemeltetés stb.) osztott vezetői lánc, az előfeltételek (képzett és képzetlen kezelők, technológia és berendezések, jövőbeli tervek, karbantartás stb.), a termelő tevékenységek (a kezelők és a gépek összehangolása) és a védekezés (műszaki, emberi és szervezeti védelem). Reason erre az alapra ráépítve kísérlete meg körülírni, hogy egy rendszerben hol (a hibák taxonómiája) és hogyan (a kórokozók metaforája) keletkeznek, és kombinálódnak a hibák, ami balesethez vezet. A modell mélységi védekezése az atomenergia felhasználási területéről érkezett.³⁰ Ugyanakkor a svájcisajt-szeletek ötletét eredetileg Rob Lee vetette fel az 1990-es évek elején, aki abban az időben Canberrában volt a Légiközlekedési Balesetvizsgáló Iroda vezetője, és az ötletét részben fel is használták egy 1995-ben megjelent, a légi járművek karbantartásáról szóló kiadványban.³¹

Tekintve, hogy az atomenergetika rendszere a légi közlekedés rendszerével azonos kockázati szinten működik (hiperbiztonságos rendszerek), az elmélet alkalmazás lehet mindkét szakterület biztonságának leírására, mégis felmerül a kérdés, hogy a rendszerek közti eltérő mértékű és gyakoriságú káros következményeket érintő kimenetek szempontjából vajon egyenértékűen használható-e.

Mindezek mellett a modellt kritizáló szerzők egyetértettek abban, hogy a svájci sajt metaforája könnyen érthetővé teszi az összetett gondolatokat, és így

²⁸ *Aircraft Accident Report. Loss of Thrust in Both Engines After Encountering a Flock of Birds and Subsequent Ditching on the Hudson River. US Airways Flight 1549. Airbus A320-214. N106US. Weehawken, New Jersey. January 15, 2009* 2010: 6.

²⁹ LAROUZEE – LE COZE 2020: 4.

³⁰ LAROUZEE – LE COZE 2020: 4.

³¹ LAROUZEE – LE COZE 2020: 4.

jelentősen hozzájárult a szervezeti baleseti paradigma népszerűsítéséhez számos tevékenységi területen.³²

Ezekén felül fontos kiemelni, hogy habár a Reason-féle modell egyes elemei más gondolkodóktól eredeztethetők, ugyanakkor a modell hármassága – mélységi védelem, a látens kórokozók metaforája és a svájci sajt plasztikussága – együttesen Reason publikációiban állt össze egésszé.

Egy további kritikai észrevétel a svájcisajt-modell jelen körülményei között történő használatát kérdőjelezi meg. Erik Hollnagel³³ megítélése szerint Reason modellje komplex lineáris modell³⁴ – azon belül epidemiológiai modell³⁵ –, amely a balesetet rejtett körülmények és kockázatos cselekmények (emberi hibák és normasértések) lineáris kombinációjának tulajdonítja, ezáltal az elemzést az egyénről a szervezetre és annak vezetésére helyezi át, ugyanakkor a megelőzést továbbra is a rendszervédelem megerősítésére irányítja.³⁶ Ezáltal nem tekinti rendszerszintű, más néven nemlineáris komplex modellnek,³⁷ amelyet a jelenleg elfogadott modern, többszörösen összetett rendszerek értelmezésére dolgoztak ki. Ezen nemlineáris komplex modelleket a balesetek dinamikus szemlélete jellemzi, és emellett az, hogy az okok és a hatások kölcsönhatásban vannak egymással,³⁸ azaz a baleseteket úgy lehet elképzelni, mint a valós környezetben előforduló, kölcsönösen kölcsönhatásban lévő változók kombinációjának eredményét, és csak e több tényező kombinációjának és kölcsönhatásának megértése révén lehet a baleseteket valóban megérteni és megelőzni.³⁹

Ezzel Sidney W. A. Dekker is egyetért, szerinte a szervezet statikus szemlélete elősegíti a balesetek lineáris ok-okozati összefüggésének elképzelését. Véleménye szerint az olyan előfeltevések, mint a szétbontható rendszer, a független alrendszerek és az okok linearitása, arra készíthetik a biztonsággal foglalkozó szakembereket, hogy az összetevők vagy alrendszerek minőségének biztosítására törekedjenek, miközben nem veszik figyelembe a rendszer egészét.⁴⁰

³² LAROUZEE – LE COZE 2020: 6.

³³ A funkcionális rezonancia baleseti modelljének (*Functional Resonance Accident Model, FRAM*) egyik megalkotója.

³⁴ HOLLNAGEL 2004.

³⁵ TOFT et al. 2012: 10.

³⁶ LAROUZEE – LE COZE 2020: 8.

³⁷ Idetartozik például az Erik Hollnagel- és Örjan Goteman-féle FRAM és a Nancy G. Leveson által kidolgozott rendszerelméleti baleseti modell és folyamatelemzés (*System-Theory Accident Model and Process, STAMP*) is.

³⁸ LAROUZEE – LE COZE 2020: 8.

³⁹ TOFT et al. 2012: 3.

⁴⁰ LAROUZEE – LE COZE 2020: 8.

A bemutatott kritikák, bár jogosan kérdőjelezték meg a Reason-modell egyes funkcióit, sohasem jutottak el odáig, hogy a megalapozó elmélet alapjait kezdjék ki. Ahogyan bemutattuk, a támogató elméletek és a későbbi kutatások is inkább megerősítették a modell időtállóságát. A méltán kritizált szabálysértés mint hibatípus kidolgozását (hanyag, hedonikus, rossz szándékú, hasznos) például English és Branaghan⁴¹ végezte el, támaszkodva a svájcisajt-modellt is megalapozó Rasmussen⁴² korábbi kutatásaira. Ilyenformán a modell folyamatosan fejlődik, és a kritikák ezt mindinkább elősegítik.

Összegzés

A Reason-modell vagy populárisabb megnevezésében svájcisajt-modell nyilvánvaló limitációi ellenére a mai napig a biztonságról való gondolkodás keretét biztosítja a légi közlekedési szakterületen. A modellt támogató leíró elmélet megjelenése óta a biztonságstudomány számtalan kritikát fogalmazott meg például a leegyszerűsítő jellegű lineáris eseménylánc koncepciója vagy a meghatározatlanságnak teret engedő funkcióhiányosságok (sajtszeletlyukak) és a szándékos szabálysértés alapjainak kidolgozatlansága miatt. Mindezen kritikák ellenére a modell semmit sem veszített frissességéből és szemléletességéből. Továbbra is népszerű maradt. Hasonló erejű átfogó modellt, amely mindenki számára érthető, nem alkottak az elmúlt évtizedekben. Érthetőségben és komplexitásban talán csak Hollnagel *Safety I-Safety II* koncepciója közelíti meg Reason elméletét. A svájcisajt-modell több évtizeden átívelő története során az azt megalapozó elmélet cáfolatára nem vállalkoztak kutatók, a kritikák pedig nem elvettek, hanem inkább hozzátettek annak tudományos értékéhez. Így a koncepció minden bizonnyal tovább él majd, képletesen szólva a modell nevét adó svájci sajt továbbra is fogyasztható marad.

Felhasznált irodalom

Aircraft Accident Report. Loss of Thrust in Both Engines After Encountering a Flock of Birds and Subsequent Ditching on the Hudson River. US Airways Flight 1549. Airbus A320-214. N106US. Weehawken, New Jersey. January 15, 2009 (2010). Washington, DC: National Transportation Safety Board. Online: www.ntsb.gov/investigations/AccidentReports/Reports/AAR1003.pdf

⁴¹ ENGLISH–BRANAGHAN 2012.

⁴² RASMUSSEN 1982.

- DUDÁS Zoltán (2007): *A repülési biztonságkultúra fejlesztésének lehetőségei a Magyar Honvédség légierijében különös tekintettel az emberi tényező formálására*. PhD-disszertáció. Budapest: Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem Kossuth Lajos Hadtudományi Kar Hadtudományi Doktori Iskola. Online: <https://nkerepo.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/12061/Teljes%20sz%F6veg!.pdf?jsessionid=DA8D6EF7F3762F5508AE9406A28BB256?sequence=1>
- DUDÁS Zoltán (2017): Repülésbiztonság emberi hiba nélkül? *Repüléstudományi Közlemények*, 29(1), 75–82. Online: www.repulestudomany.hu/folyoirat/2017_1/2017-1-06-0389_Dudas_Zoltan.pdf
- ENGLISH, Dave – BRANAGHAN, Russel J. (2012): An Empirically Derived Taxonomy of Pilot Violation Behavior. *Safety Science*, 50(2), 199–209. Online: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.08.009>
- EUROCONTROL (2006): *Revisiting the „Swiss Cheese” Model of Accidents*. Brétigny-sur-Orge Cedex: EUROCONTROL Experimental Centre. Online: www.eurocontrol.int/publication/revisiting-swiss-cheese-model-accidents
- HOLLNAGEL, Erik (2004): *Barriers and Accident Prevention*. London: Routledge. Online: <https://doi.org/10.4324/9781315261737>
- LAROUZEE, Justin – LE COZE, Jean-Christophe (2020): Good and Bad Reasons: The Swiss Cheese Model and Its Critics. *Safety Science*, 126, 10466. Online: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104660>
- MAURINO, Daniel E. et al. (1995): *Beyond Aviation Human Factors. Safety in High Technology Systems*. London: Routledge. Online: <https://doi.org/10.4324/9781315261652>
- RASMUSSEN, Jens (1982): Human Errors. A Taxonomy for Describing Human Malfunction in Industrial Installations. *Journal of Occupational Accidents*, 4(2–4), 311–333. Online: [https://doi.org/10.1016/0376-6349\(82\)90041-4](https://doi.org/10.1016/0376-6349(82)90041-4)
- REASON, James T. (1997/2016): *Managing the Risks of Organizational Accidents*. New York: Routledge. Online: <https://doi.org/10.4324/9781315543543>
- TOFT, Yvonne et al. (2012): Model of Causation: Safety. In HaSPA (Health and Safety Professionals Alliance): *The Core Body of Knowledge for Generalist OHS Professionals*. Tullamarine: Safety Institute of Australia. Online: <https://ohsbok.org.au/wp-content/uploads/2013/12/32-Models-of-causation-Safety.pdf>

A konténerizált szennyvíztisztító telep anyagáramon alapuló modellezésének fejlesztése

A konténerizált szennyvíztisztítási technológiák fenntartható megoldást nyújtanak katonai bázisok számára, ahol szükséges a szennyvíz gyors és hatékony kezelése. Ezek a rendszerek gyakran mobilisak és könnyen telepíthetők, ami ideális a változó körülmények közötti alkalmazásokhoz. A konténerekben elhelyezett egységek biológiailag és fizikailag tisztítják a szennyvizet, ezáltal visszavezetik a környezetbe vagy újrahasznosítják. Nagy hatásfokú létesítményekre adaptált anyagárammodellekkel a rendszerben lejátszódó folyamatok leírhatók, segítségükkel a levegőztetési igény minimalizálható, energiamegtakarítás érhető el. A modellalkotás kiter a dinamikus oxigénbeoldódási hatékonyság paramétereinek becslésére és a változó befolyó szennyvízminőségre alkalmazható tervezési és üzemeltetési stratégiákra – áramláskiegyenlítéssel és különböző folyamatirányítási technikákkal. A kutatás alkalmazhatósága az ilyen típusú létesítmények költséghatékonyságában mutatkozik meg.

Kulcsszavak: energiamegtakarítás, irányítástechnika, katonai táborok, szennyvízkezelés

DEVELOPMENT OF A CONTAINERIZED WASTEWATER TREATMENT PLANT MODEL CONFIGURATION BASED ON MASS BALANCE ANALYSIS

Package plants provide a sustainable solution for treating wastewater at military bases that require fast and efficient treatment. Such systems are convenient to mobilize and start up, ideal for applications where the environmental conditions change rapidly. Biological and physical treatment is implemented in modular units and the treated water is discharged into the environment or reused. Mass balance models adapted to these high-rate systems mathematically describe the plant-wide kinetic processes taking place and are useful for minimizing aeration demand, leading to energy savings. Model application efforts of this study rely on the dynamic prediction of oxygen transfer efficiency, linking to design and operational strategies applicable to variations in influent wastewater quality – using flow equalization and process control methods. Results of this study emphasize the achievable cost-efficiency of such small-scale systems by appropriate sizing and automation.

Keywords: control strategies, energy saving, military bases, wastewater treatment

Bevezetés

A biztonságos ivóvíz-szolgáltatás érdekében szükséges a városi vízciklus nyílt áramainak zárása és ezáltal a fenntartható vízgazdálkodás megvalósítása, amelynek egyik kulcsfontosságú eleme a szennyvíztisztítás.¹ A szennyvíz különféle vízhasználatokból származó, ásványi és szerves szennyeződésekkel tartalmazó hulladékvíz, amelyet általában a közüzemi csatornahálózaton keresztül, külön vagy a csapadékvízzel együtt vezetnek el. A szennyvízkezelés elsődleges célja a vízbázisok védelme és a környezeti elemek megóvása.² A szennyvíz eredete szerint megkülönböztethetünk lakossági (kommunális), ipari és mezőgazdasági szennyvizet. A szennyvízkezelő rendszerek két fő típusra oszthatók a szennyvíz-gyűjtési terület szerint: centralizált és decentralizált rendszerek.

A centralizált szennyvíztisztítás során a nagyobb településeken keletkező szennyvizet központi telepen tisztítják, amelyhez hosszú csatornahálózat kiépítése szükséges, mivel kis számban működnek nagy kapacitású telepek. A decentralizált szennyvíztisztítás esetében több kis léptékű technológiával vagy egyedi megoldásokkal helyben történik a szennyvíz kezelése, így elkerülhető a hosszú csatornahálózat kiépítése. Ennek hátránya lehet, hogy a lakosság közvetlen környezetében zajlik, ami panaszokat okozhat például a bűzképződés miatt, valamint nem mindig áll rendelkezésre megfelelően képzett személyzet az üzemeltetéshez. Mindkét esetben a szennyvíztisztítás alapfolyamatai azonosak, de a kialakításban és az üzemeltetésben lehetnek különbségek.³

A decentralizált szennyvíztisztító rendszerek különösen kis közösségek, falvak vagy elszigetelt ingatlanok esetében alkalmasak, ahol a központi szennyvíztisztítás nem gazdaságos, vagy technikailag nem kivitelezhető. A decentralizált rendszerek egyik legnagyobb előnye a rugalmasságuk, hiszen különböző méretekben és kialakításokban érhetők el, így alkalmazkodnak a helyi körülményekhez és igényekhez. Az ilyen rendszerekben a szennyvíz kezelése a helyszínen történik, ami minimalizálja a szállítási és kezelési költségeket, miközben megfelelő tisztítási hatékonyságot biztosít.

Az egyedi kis berendezések, mint például a kis létesítmények oldóaknával vagy szikkasztó mezővel, szintén a decentralizált szennyvíztisztítási rendszerek közé tartoznak. Az oldóakna egyszerű, de hatékony eszköz, amely mechanikai és biológiai tisztítást végez, miközben a szilárd anyagokat elválasztja a folyadéktól. Ezt követően a részben tisztított szennyvíz szikkasztó mezőbe kerül, ahol a talajon

¹ NOVOTNY 2008.

² OBAIDEEN et al. 2022.

³ KARCHES–PAPP 2018.

keresztül történő természetes szűrés és lebontás révén további tisztítás történik. Az ilyen rendszerek ideálisak egyedi ingatlanok számára, mivel alacsony költséggel telepíthetők és karbantarthatók, ugyanakkor minimális környezeti hatást gyakorolnak, feltéve, hogy a talajviszonyok és a helyi szabályozások megfelelőek.⁴

A konténerizált szennyvíztisztító rendszerek hatékony megoldást nyújtanak speciális alkalmazásokban, többek között katonai táborok szennyvízkezelésében. Ezek a rendszerek moduláris felépítésüknek köszönhetően mobilisak, így könnyen szállíthatók és telepíthetők, ami különösen előnyös a gyakran változó helyszíneken történő alkalmazásoknál. Kompakt kivitelezésük miatt a konténerizált szennyvíztisztítók kis helyigénnyel rendelkeznek, továbbá telepítésük minimális infrastruktúrát igényel, így gyorsan üzembe helyezhetők olyan környezetekben, ahol a hagyományos szennyvíztisztító rendszerek kialakítása időigényes vagy költséges lenne. A rendszer moduláris jellege lehetővé teszi, hogy különféle tisztítási technológiákat kombináljanak egyetlen egységben, így a szennyvízkezelés az adott körülményekhez igazítható.⁵

Az ilyen típusú rendszerek kifejezetten hasznosak olyan katonai objektumok esetén, ahol a helyszín gyors megváltozása vagy a létszám növekedése rugalmas és biztonságos megoldásokat igényel. Emellett a konténerizált rendszerek minimalizálják a környezeti hatásokat, mivel a tisztított szennyvizet újrahasznosíthatják, például öntözési célokra, ami különösen fontos a vízhiányos területeken.⁶

Az anyagárammodellek továbbfejlesztése üzemszinten teszi lehetővé a szennyvíztisztító rendszerekben zajló folyamatok pontosabb és részletesebb leírását, ami kulcsfontosságú a rendszer hatékonyságának növelése érdekében. Az anyagárammodellek alapvetően olyan matematikai és számítógépes eszközök, amelyek segítségével értelmezhetők és nyomon követhetők a szennyvízkezelés során zajló fizikai, kémiai és biológiai folyamatok. Segítenek megérteni, hogy hogyan áramlanak, alakulnak át, és távolítódnak el különböző anyagok a rendszerben.

A továbbfejlesztett anyagárammodellek alkalmazása különösen fontos a levegőztetési műveletek optimalizálása szempontjából. A szennyvíztisztítás egyik leginkább energiaigényes folyamata a levegőztetés, amely a biológiai tisztítás során a mikroorganizmusok számára biztosít oxigént, amely szükséges a szennyező anyagok lebontásához. A levegőztetési igény minimalizálása nemcsak energia-megtakarítással jár, hanem a rendszer üzemeltetési költségeit is csökkenti.⁷

⁴ CZAKÓ–KARCHES 2019.

⁵ SALLAM et al. 2023.

⁶ MEDINA–WAISNER 2011.

⁷ RIEGER et al. 2006.

Az anyagárammodellek segítségével pontosan szimulálható a szennyvíz összetétele, a benne található szennyeződések jellege és mennyisége, valamint a lebontási folyamatok sebessége. Ez alapján meghatározható a levegőztetés optimális intenzitása és időbeli teljesítményszükséglete; elkerülve a túlvegőztetést, amely felesleges energiafogyasztást vonna maga után. Továbbá, ezek a dinamikus modellek lehetővé teszik a rendszer különböző üzemállapotainak szimulálását, amely az üzemeltetők számára segítséget nyújt a legjobb gyakorlatok kialakításában.

Anyagforgalmi modellek

Biokinetikai modell

A biokinetikai modellek alapja a mikrobiális populációk viselkedésének leírása, beleértve a tápanyagfelvételt, a biológiai növekedést, a szerves szennyező anyagok és növényi tápanyagok lebontását, illetve a végtermékek képződését. Az ASM sorozat – különösen az ASM1 – az egyik legismertebb modellesalád, amelyet széles körben alkalmaznak az eleveniszapos rendszerek modellezésében.⁸ Az ASM-ek különböző komponensekre (például oldott oxigén, szerves összetevők, ammónia) és különböző biológiai folyamatokra (nitrifikáció, denitrifikáció, szénlebontás stb.) osztják fel a szennyvízkezelést, lehetővé téve a folyamatok pontosabb elemzését.

A szennyvíztisztítás során a mikroorganizmusok fő feladata a szervesanyag- és tápanyag-eltávolítás. A biológiai növekedés és lebontás során a mikroorganizmusok a szerves összetevőket (például szénhidrátokat, fehérjéket) hasznosítják energiaforrásként, amelynek eredményeként új biomassa keletkezik, miközben a szennyező anyagok átalakulnak. Az ASM-ek ezeket az alapfolyamatokat részletesen leírják, figyelembe véve a mikroorganizmusok növekedési sebességét, a tápanyagok elérhetőségét és a környezeti feltételeket, például a hőmérsékletet és a pH-t.

A hidrolízis az a folyamat, amely során a szennyvízben található nagyobb szerves molekulák (például zsírok, fehérjék, poliszacharidok) kisebb molekulákká bomlanak le, amelyeket a mikroorganizmusok könnyebben fel tudnak venni, és le tudnak bontani. A hidrolízis sebessége kulcsfontosságú a szennyvíztisztítás hatékonyságában, amely meghatározza, hogy a szerves anyag mekkora sebességgel válik elérhetővé a mikrobiális lebontás számára.⁹ A nitrogén anyagforgalma

⁸ VAN LOOSDRECHT et al. 2015.

⁹ INSEL et al. 2002.

esetében az ammonifikáció a meghatározó folyamat a szerves nitrogéntartalmú tápanyagok ammónium-nitrogénné való átalakulásában. Az ASM-ekben a hidrolízis dinamikája külön figyelmet kap, mivel ez a folyamat gyakran a szerves szennyezők biológiai bontásának korlátozó tényezője.

A biokinetikai modellek, például az ASM típusú modellek, kulcsfontosságúak a szennyvíztisztítási technológiák tervezésében és üzemeltetésében. A tervezési folyamat során a modellek segítségével szimulálható és optimalizálható a szennyvíztisztító telep működése, például a levegőztetési rendszer hatékonysága, az iszap-visszatáplálás térfogatárama, valamint a tisztítási folyamat egyéb paraméterei. Ezáltal biztosítható, hogy a rendszer megfeleljen a szükséges kibocsátási határértékeknek, miközben minimális energia- és költségráfordítást igényel.

Az üzemeltetés során a modellek segíthetnek az üzemi paraméterek valós idejű finomhangolásában, a váratlan üzemi problémák előrejelzésében és az üzemeltetés hosszú távú optimalizálásában. Például ha egy szennyvíztisztító telepen a befolyó szennyvíz minősége hirtelen változik, a modellek segítségével gyorsan lehet számszerűsíteni, hogy milyen beavatkozásokra van szükség a rendszer stabilitásának fenntartásához.

Levegőztetési modell

Az oxigénbeoldódási modellek a levegőztető rendszerek működését írják le, főképpen az oxigén levegőből vízbe történő átadását. Az oxigén hatékony bevitele kritikus a biológiai szennyvíztisztítás szempontjából, mivel az aerob mikroorganizmusoknak oxigénre van szükségük a szennyezőanyag-lebontáshoz. Az oxigénbeoldódási sebességet befolyásoló legfontosabb tényezők közé tartozik a víz hőmérséklete, a szennyvíz összetétele, a levegőztető rendszer típusa és az alkalmazott diffúzorok tulajdonságai.¹⁰

A dinamikus modellek az időben változó folyamatokat írják le, így különösen hasznosak a szennyvíztisztító rendszerek valós idejű működésének szimulálásában és optimalizálásában. Ezek a modellek képesek figyelembe venni a szennyvíz összetételének, a hidraulikai feltételeknek és a környezeti tényezőknek az időbeli változásait, és ezáltal előrejelzéseket adni a rendszer teljesítményére vonatkozóan. Az oxigén beoldódásának dinamikus modellezése során például figyelembe vehetjük a szennyvízbe jutó szerves komponensek, felületaktív anyagok jelenlétét,

¹⁰ ASHLEY–MAVINIC–HALL 1992.

a mikroorganizmusok aktivitását, valamint a levegőztető rendszer beállításait. Az ilyen modellek lehetővé teszik az üzemeltetők számára, hogy gyorsan reagáljanak a változó körülményekre, például a hirtelen növekvő szennyezőanyagterhelésre, azáltal, hogy a körülményekhez adaptálva állítják be a levegőztetési intenzitást vagy a levegőztető berendezések működését.¹¹

A tervezés során az oxigénátadási modelleket a levegőztetési rendszer méretezésére és optimalizálására alkalmazzák, biztosítva, hogy a rendszer képes legyen a változó szennyvízterheléshez igazodni, eközben minimalizálva az energiafogyasztást.¹² Az üzemeltetés során ezek a modellek segítenek a rendszer monitorozásában és a beavatkozások időzítésében, hogy a szennyvíztisztítás – az üzembiztonságot is figyelembe véve – a leghatékonyabb módon valósuljon meg.

A vizsgált konténerrendszer bemutatása

Egy körülbelül 185 lakosegyenértéknek megfelelő terhelésű konténerrendszerre számítógépes modellt készítettünk, amely a Sumo1 üzemszintű biokinetikai modell felhasználásával részletesen körülírja a teljes szennyvíztisztítási folyamatot.¹³ Ez a konfiguráció szemléletesen ábrázolja az egyes műveleti egységeket, mint például a szennyvíz puffertartályát, a biológiai reaktorokat, az ülepítőt és az iszapvonalat. A 3.1. ábrán nyomon követhetők a különböző anyagáramok, beleértve a nyers szennyvíz beáramlását, az oxigénbevitelhez szükséges levegő bejuttatását, valamint a tisztított víz és a keletkező szennyvíziszap elvezetését.

Ezenkívül a matematikai modell lehetőséget biztosít a rendszer dinamikus viselkedésének elemzésére, például a terhelési csúcsok hatásának vizsgálatára vagy a különböző üzemeltetési stratégiák tesztelésére. Az anyagáramok pontos nyomon követése és a műveleti egységek közötti kapcsolatok részletes megjelenítése révén a modell lehetőséget ad az optimalizálási lehetőségek feltárására, ezáltal a rendszer teljesítményének intenzifikálására. Ez a modellkonfiguráció tehát kulcsfontosságú eszközként szolgálhat a konténerlétesítmény hatékony üzemeltetésének biztosításában, hozzájárulva a fenntartható és megbízható szennyvízkezeléshez. A modellkonfigurációt a Sumo22 szimulációs szoftverben fejlesztettük.

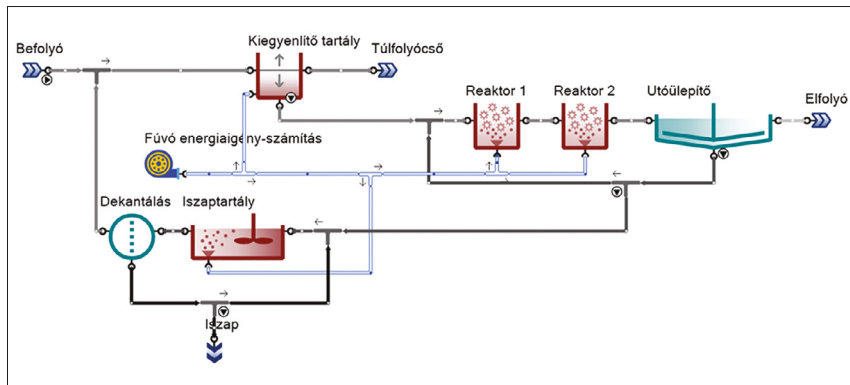
A technológiai séma a következő egységeket tartalmazza:

¹¹ BENCsik–TAKÁCS–ROSSO 2022.

¹² JIANG et al. 2017.

¹³ GAZSÓ et al. 2017.

1. *Befolyó*: a nyers szennyvizet betáplálják a rendszerbe, ahová egy befolyó vezetéken keresztül érkeznek.
2. *Kiegyenlítő tartály*: a beáramló szennyvíz először a kiegyenlítő tartályba kerül, amelynek szerepe az áramlás kiegyenlítése, azaz a hirtelen mennyiségi változások (például csúcsok) kiegyenlítése. Ezáltal biztosítja a stabilizált térfogatárammal való működtetést.
3. *Túlfolyócső*: biztonsági szempontból a kiegyenlítő tartályhoz túlfolyócső is kapcsolódik, amely megakadályozza a tartály túlsordulását abban az esetben, ha a befolyó szennyvíz mennyisége meghaladná a tartály kapacitását.
4. *Reaktor 1 és Reaktor 2*: a szennyvíz ezután a reaktorokba kerül, ahol a biológiai tisztítási folyamatok zajlanak. Bár a valóságban ez a művelet egy térben kialakított, a modellben a rendszert két külön teljesen elkevert biofilmes reaktorra osztjuk (Reaktor 1 és Reaktor 2). Ezekben a műveleti egységekben műanyag hordozók felületén megtelepedő mikroorganizmusok távolítják el a szennyvízben lévő szerves összetevőket és az ammóniát. A légbefúvást durva buborékos diffúzorok szolgáltatják.
5. *Utóülepítő*: a biológiai tisztítás után a szennyvíz az utóülepítőbe kerül, ahol a szilárd anyagok (iszap) leülepednek, és a megtisztított víz elfolyik a rendszerből. Ez a folyamat biztosítja, hogy az elfolyó víz lebegőanyagoktól mentesen kerüljön a környezetbe. A modellben ez egy egyszerűsített algebrai összefüggésre alapozott szeparátor, tehát a térfogatát és az iszap üledési tulajdonságait nem vesszük figyelembe.
6. *Iszaptartály dekantálással*: a rendszerben az iszapkezelést a kombinált iszapsűrítő egység biztosítja. Ez az iszaptartály fogadja a kiülepített fölösiszapot, és az aerob iszapstabilizációhoz levegőellátást igényel. A dekantálás során a fölösleges folyadékot elválasztja az iszaptól, a felülúszó iszapvizet pedig visszatáplálják a kiegyenlítő tartályba. A sűrített iszapot külön létesítményben tovább kezelik, például komposztálással vagy anaerob lebontással.
7. *A fűvő energiaigényének számítása*: a rendszer levegőztetése fűvő segítségével történik, amely biztosítja a szükséges oxigén bejuttatását a biológiai reaktorokba és az iszaptartályba, valamint pneumatikus keverés céljából a kiegyenlítő tartályba. Az energiaigény-kalkulátor a levegőztetési folyamat energiafogyasztásának meghatározását szolgálja, a rendszer működésének optimalizálhatósága céljából. A fűvőmodell ugyan képes összesíteni a teljes rendszer levegőszükségletét, de a tanulmány csak a vízvonali fűvőkapa-citást veszi figyelembe.



3.1. ábra. A vizsgált konténertelep folyamatábrája

Forrás: a szerzők szerkesztése

A 3.1. táblázat a főbb művelési egységek méreteit tartalmazza. A mozgóágyas, fixfilmes technológiát alkalmazó biológiai fokozatot a 2 reaktor együtteseként értelmezzük. A biofilmet hordozó töltet kitöltöttsége határozza meg, hogy a teljes egység térfogatát milyen arányban képviseli a hordozó, vagyis jelen esetben ez a hasznos térfogat 60%-ának felel meg.

3.1. táblázat. A vizsgált konténertelep
főbb tervezési paraméterei

	Kiegészítő medence	Reaktor 1	Reaktor 2	Iszaptartály	Mértékegység
Térfogat	21,9	11	11	11	m ³
Mélység	2	2	2	2	m
Biofilmhordozó- kitöltöttség		0,6	0,6		m ³ /m ³

Forrás: a szerzők szerkesztése

A tanulmány időben dinamikus modellkísérleteit úgynevezett *steady-state* állapotból futtatjuk, ami időben állandósult állapotot feltételez; a rendszer alfolyamatai stabilan működnek, változatlan bemeneti és kimeneti feltételekkel. Ez elméletben azt jelenti, hogy a szennyvízkezelés során a koncentrációk és az anyagáramok nem változnak az idő múlásával; ami lehetővé teszi a rendszer hosszú távú viselkedésének elemzését kvázi stabilizált üzemállapotból kiindulva.

A biológiai tisztítást a műanyag töltetek mentén kialakuló hártya felületén valósítják meg. A modellséma ugyan lehetőséget ad az ülepített iszap visszatáplálására is, azonban a folyamat tervezése alapján nincsen szükség eleveniszap fenntartására a reaktorokban, így a tanulmány is tükrözi ezt. A medencék levegőztetettek, így az aerob mikrobák számára szükséges oxigén biztosított, a megfelelő biodegradáció érdekében. Ugyanakkor a biofilm belső rétegeiben oxigénhiányos, vagyis anoxikus körülmények alakulhatnak ki, ami lehetőséget teremt szimultán denitrifikációra. Ez a folyamat lehetővé teszi a nitrácionok biológiai eltávolítását, amely a nitrifikáció mellékterméke, így hozzájárul a nitrogén eltávolításához a rendszerből.

Az iszaptartály kombinált dekantáló egységként is funkcionál, az iszap nagy hatásfokú kezelésére szolgál. Az aerob iszapstabilizáció érdekében a tartályban 2 mg/l oldott oxigén (DO) -koncentrációt tartanak fenn. Ez a koncentráció elegendő ahhoz, hogy a mikroorganizmusok hatékonyan stabilizálják az iszapot, miközben minimális szintre csökkenti a lebomlás során keletkező szagokat és egyéb problémákat. Megjegyzendő azonban, hogy a cikk nem foglalkozik részletesen az iszapvonalai levegőztetés tanulmányozásával, ehhez kapcsolódóan az oxigénellátás hatékonysága és optimalizálása egyéb források alapján vizsgálandó.

Eredmények

A vizsgált rendszer átlagos hidraulikai terhelése $38 \text{ m}^3/\text{d}$. A befolyó szerves- és növényitápanyag-terhelést – amely jellegzetes közép-európai szennyvízösszetételnek felel meg – a 3.2. táblázat foglalja össze. A konténerrendszer körülbelül 90%-os szervesanyag-eltávolítást és teljes nitrifikációt biztosít. Azonban az összes nitrogén koncentrációja csak mérsékelten csökken, a denitrifikáció csak részlegesen valósul meg, szimultán denitrifikáció útján, a biofilm belső rétegeiben. Az elemzések során átlagosan 15°C -os szennyvízhőmérséklettel számoltunk.

A 3.2. táblázat összegzi a tanulmány első modellkísérletének eredményeit is. Kiegyenlítő tartály alkalmazása nélkül közel 8%-kal nagyobb kapacitású fúvóra van szükség, ami nagyobb beruházási költséggel járhat. Az adatokat egy centralizált telep esetével hasonlítottuk össze; amelynél a stabilabb befolyó vízminőség és -mennyiség miatt kisebb a levegőigény ingadozása és az óracsúcs is. Az eloszlásokat a Sumo22 szoftver nyersszennyvíz-kalkulátorával generáltuk.

Megjegyezzük, hogy a 3.2. táblázatban szereplő értékek a nyers szennyvízre értelmezettek, nem tartalmazzák a koncentrációk változását a kiegyenlítő medencében. A centralizált telepre való fajlagosításnál nem növeltük meg a medence

3.2. táblázat. A nyers szennyvíz paraméterei,
az áramláskiegyenlítés hatása a szükséges fűvókacapacitásra

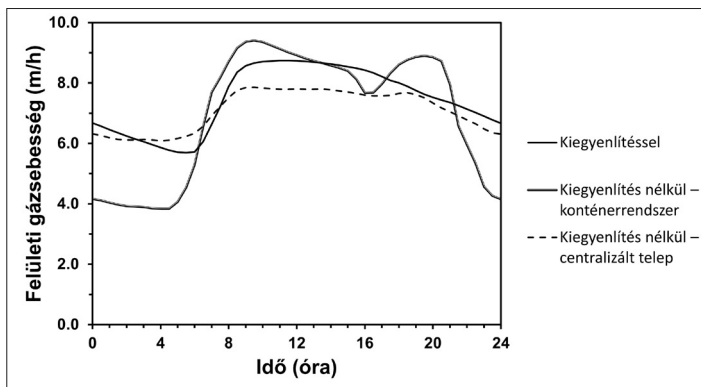
Paraméter	Kiegyenlítéssel			Kiegyenlítés nélkül – konténer			Kiegyenlítés nélkül – centralizált			Mértékegység
	Átlag	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	
Térfogat- áram	37,9			37,9	2,3	96,4	37854	33408	45166	m ³ /d
Kémiai oxigénigény	675	435	1052	675	435	1052	675	504	944	mg/l
Biokémiai oxigénigény	294	190	459	294	190	459	294	220	412	mg/l
Összes nitrogén	45	28	78	45	28	78	45	32	70	mg/l
Összes foszfor	5	3,1	7,2	5	3,1	7,2	5	4,5	5,6	mg/l
Fűvókapa- citás-igény			1,2			1,29			1076	kW
Fajlagos fűvókacapacitás			2,6			2,8			2,3	kWh/kg _{BOI}

Forrás: a szerzők szerkesztése

mélységét, illetve konstans fűvóteljesítményt feltételeztünk, nem foglalkoztunk a léptéknöveléssel járó teljesítmény-jelleggörbe eltéréseivel.

A szennyvíztelepek levegőztető rendszereinél a felületi gázsebesség kulcsfontosságú paraméter, mivel közvetlen hatással van az oxigénátadás hatékonyságára, a szennyvíztisztítás eredményességére és a rendszer energiafogyasztására. Az oxigénátadás hatékonysága nagyban függ a gázsebességtől, mivel, ha az túl alacsony, a rendszer nem képes elegendő oxigént bejuttatni a szennyvízbe, ami rontja a tisztítási folyamatot. Emellett az optimális felületi gázsebesség csökkenti az energiafogyasztást, hiszen megfelelő beállítás mellett kevesebb energia szükséges az ideális oxigénellátás biztosításához.¹⁴ Továbbá, a túl nagy értékű gázsebességek habképződéshez vezethetnek, ami problémákat okozhat a rendszer működésében, például szivattyúk eltömődésével vagy túlfolyásokkal. A megfelelő gázsebesség fenntartása segít minimalizálni a habképződést, biztosítja a megfelelő keveredést és megelőzi az iszap leülepedését, ezáltal stabilabbá téve a szennyvízkezelési folyamatot.

¹⁴ ZHANG et al. 2023.

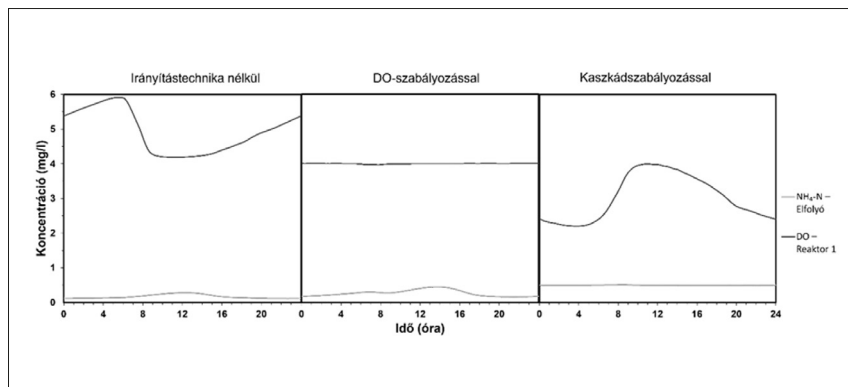


3.2. ábra. A felületi gázsebesség változása a nap folyamán

Forrás: a szerzők szerkesztése

Három szimulációs scenáriót futtattunk, amelyek során vizsgáltuk a felületi gázsebesség változását a konténertelepen, kiegyenlítő medence alkalmazásával és anélkül, valamint összevetettük ezeket egy kiegyenlítés nélküli centralizált teleppel (3.2. ábra). A napi terhelésingadozás függvényében előre jeleztük a levegőfogyasztási profilokat (az 1. reaktorcella oldottoxigén-koncentrációjának szabályozása mellett). A reggeli csúcsvízfogyasztási időszakban mindhárom esetben hirtelen megemelkedik a felületi gázsebesség. A kiegyenlítő medence használatával a csúcsok valamelyest mérsékelhetők, azonban a konténertelep mint decentralizált megoldás nagyobb ingadozásoknak van kitéve; fajlagosan nagyobb maximális teljesítményű fűvót igényel. A 3.2. táblázatra visszatekintve, a puffertartály hiánya akár 8%-kal növelheti a maximális teljesítményszükségletet. Az esti órákban hasonló trend szerint a görbe jobban visszaesik.

A szennyvíztisztításban a DO (*dissolved oxygen*, azaz oldott oxigén) -szabályozású levegőztetés alapvető módszer az oxigénkoncentráció fenntartására a biológiai folyamatok megfelelő hatékonyságának biztosítása érdekében. Az oldottoxigén-szint megfelelő szabályozása kulcsfontosságú, mivel a mikroorganizmusok optimális működéséhez szükséges oxigénellátást biztosítja, ami a szén- és nitrogénvegyületek aerob lebontásához elengedhetetlen. A kaszkádszabályozás fejlettebb megközelítés, amely a hagyományos DO-szabályozásnál precízebb vezérlést tesz lehetővé. Ebben a folyamatirányítási rendszerben a levegőztetést több lépcsőben, egymásra épülő szabályozók segítségével vezérlik, gyorsabban és pontosabban reagálva a rendszer dinamikus változásaira, például terhelésbeli ingadozásaira.



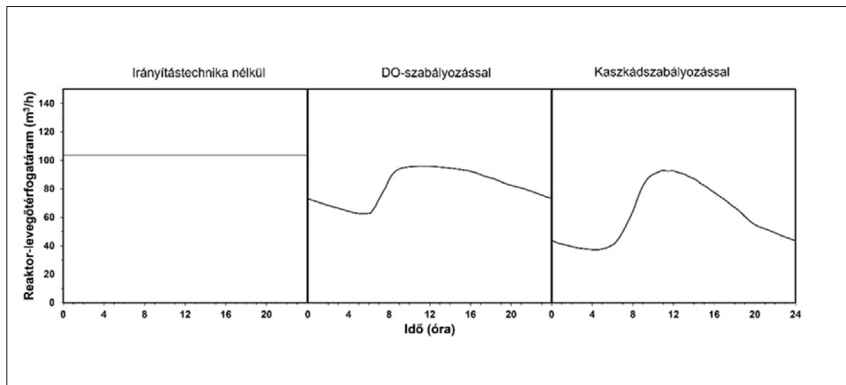
3.3. ábra. Levegőtérfigatáram-profilok különböző levegőztetési stratégiák alkalmazásával

Forrás: a szerzők szerkesztése

Az ammóniavezérelt szabályozás a fentebb említett DO-szabályozás továbbfejlesztett változata, amely a biológiai folyamatokat nemcsak az oldott oxigén szintjének, hanem az ammóniakoncentrációnak a figyelembevételével is optimalizálja. Ez a megközelítés lehetővé teszi a nitrifikációs folyamat pontosabb ellenőrzését, mivel az ammóniaszint közvetlenül befolyásolja a nitrifikáló baktériumok aktivitását.¹⁵ Ammóniavezérelt kaszkádkapcsolás esetében a rendszer képes automatikusan változtatni a DO-célértéket annak érdekében, hogy az ammónia koncentrációja a kívánt tartományban maradjon, hatékonyabbá téve a szennyvízkezelést és csökkentve az energiafogyasztást. Ez a módszer különösen hasznos a nagyobb ammóniaterhelésű rendszerekben, ahol a hagyományos DO-szabályozás önmagában nem lenne elég hatékony.

A tanulmány másik vizsgált modellkísérlete alapján a 3.3. ábra azt szemlélteti, hogy a reaktor levegőztetéséhez mekkora léghozam szükséges (kiegyenlített vízhozammal történő terhelés esetén). Ha a fűvő nincsen ellátva frekvenciaszabályozással, nincs kiépítve irányítástechnika, akkor a napi terhelésingadozástól függetlenül konstans frekvenciaértéken üzemel a kompresszor; azaz méretezés szerinti maximális teljesítményen, hogy a napi csúcsgigényt is fedezze. Az első reaktorcella végén elhelyezett DO-szonda felhasználásával oldotttoxigénszint-szabályozással csupán a csúcsterheléses időszakban növekszik meg a levegőigény,

¹⁵ LIU–Yoo 2016.



3.4. ábra. Ammónium- és DO-koncentráció különböző levegőztetési stratégiák alkalmazásával

Forrás: a szerzők szerkesztése

de akkor sem annyira, mint az irányítástechnika nélküli modellváltozatban. A tisztított vízben monitorozott ammóniakoncentráción alapuló kaskádkapcsolással tovább lehet finomítani a levegőztetési stratégiát, és főleg csak akkor szükséges növelni az alkalmazott levegőmennyiséget, amikor a nitrifikációhoz szükséges oxigénigény növekszik – ehhez képest a másik két scenárió bizonyos mértékű túlvegőztetéssel jár. A görbe alatti területek arányosak a levegőztetéshez szükséges energiamennyiséggel, és a 3.3. ábrán megfigyelhető, hogy a legnagyobb megtakarítás a kaskádszabályozással érhető el.

Ha ezzel párhuzamosan az ammónium- és oldottoxigén-koncentrációkat tanulmányozzuk (3.4. ábra), akkor láthatjuk, hogy a legnagyobb minőségbeli ingadozással az irányítástechnika nélküli változat jár. Csúcsterheléses időszakban jelentősen lecsökkenhet a rendelkezésre álló oldott oxigén, a DO csökkenésével viszont az oxigéntranszport sebessége az oldott fázis és a mikroorganizmus-sejtek között csökken, ezért az elfolyó ammóniumkoncentráció is növekszik. Az elfolyó vízben szükségtelenül magas 4–6 mg/l DO-koncentrációt tapasztalunk. DO-szabályozással 4 mg/l koncentrációjú elfolyó DO mellett jóval kevesebb, mint 1 mg/l ammóniumkoncentrációt mérhetünk. Emellett a kaskádszabályozás – az ammónium-nitrogén 4 mg/l koncentrációjú célértéken tartásával – lehetővé teszi a stabil üzemeltetést, és kisebb energiaigénnyel is jár. A megvalósításhoz fontos a matematikai szabályzó tagok finomhangolása, azonban a helytelen hangolás hatása jelen kutatás tárgyát nem képezte.

3.3. táblázat. Az egyes szabályozási stratégiák főbb paramétereit

Paraméter	Irányítás- technika nélkül	DO-szabályozással	Kaskád- szabályozással	Mértékegység
Átlagos DO – Reaktor 1	4,9	4	3	mg/l
Átlagos elfolyó NH ₄ -N	0,17	0,27	0,5	mg/l
Átlagos vízvonali léghozam	103,7	81,7	62	m ³ /h
A fűtő energia- szükséglete	31,1	24,5	18,6	kWh
Energiaköltség- megtakarítás		21%	40%	

Forrás: a szerzők szerkesztése

Összesítve tehát irányítástechnika nélkül nincsen frekvenciaszabályozás, maximális teljesítményen üzemeltetjük a fűtőt, és ez jelentősen túllegeőzteti a biológiát. Ezzel szemben DO-szabályozással megtakarítható 21% levegőztetéssel járó energiaköltség a vízvonalon, kaskádszabályozással pedig célértéken tartjuk a tisztított víz ammóniakoncentrációját, és ez optimális oxigénszint-szabályozás által akár 40% költségmegtakarítást jelent (3.3. táblázat).

Összefoglalás

A konténerizált szennyvíztisztító rendszerek hasznos infrastruktúra-elemeit képezhetik katonai táboroknak, ahol a gyors és hatékony szennyvízkezelés elengedhetetlen. Ezek a mobilis, könnyen telepíthető rendszerek lehetővé teszik a szennyvíz nagy hatásfokú tisztítását, majd annak visszavezetését a környezetbe. Az ilyen rendszerek folyamatainak méretezése és optimalizálása érdekében anyagáram-modelleket állítanak össze, amelyekkel a levegőztetési igény minimalizálható. A modellek képesek figyelembe venni a dinamikus oxigénbeoldódási hatékonyságot és szimulálni a változó szennyvízminőséghez alkalmazkodó stratégiákat, amelyek végső soron a telepek költséghatékonyságát növelik.

A modellezési tanulmány során a szerzők három különböző számítási szcenáriót vizsgáltak, hogy meghatározzák a felületi gázsebesség változásait egy

konténertelepen, mind kiegyenlítő medence használatával, mind anélkül. Az eredmények azt mutatták, hogy a reggeli csúcsvízfogyasztás idején mindhárom esetben hirtelen megemelkedik a felületi gázsebesség, de kiegyenlítő medence alkalmazásával a csúcsok mérsékelhetők. Ugyanakkor a konténertelep mint decentralizált megoldás nagyobb ingadozásoknak van kitéve, különösen az esti órákban, amikor a léghezamprofil szintén jobban visszaesik. A puffertartály hiánya akár 8%-kal növelheti a maximális teljesítményszükségletet, amely potenciálisan nagyobb beruházási költséget von maga után.

A második modellkísérlet rámutat, hogy a reaktor levegőztetéséhez szükséges térfogatáram dinamikus beállításához a DO-szabályozás jelentős előnyökkel jár. Ha a levegőztető rendszer nem rendelkezik frekvenciaváltókkal és irányítástechnikával, akkor a kompresszort állandó teljesítményértékre állítják be, amely lefedi a napi csúcsterhelést, ez viszont energiaigényes. DO-szabályozás alkalmazásával a levegőigény csak a csúcsterhelés idején növekszik, és akkor sem olyan mértékben, mint irányítástechnika nélküli esetben. A kaszkádszabályozás tovább finomítja ezt a stratégiát, biztosítva, hogy a levegő mennyiségét főként akkor növeljék, amikor a nitrifikációhoz szükséges oxigénigény megemelkedik, ami stabilabb üzemeltetést és kevesebb energiafelhasználást eredményez. A szimulációk alapján DO-szabályozással megtakarítható 21% levegőztetéssel járó energiaköltség a vízvonalon, kaszkádszabályozással pedig célértéken tartható a tisztított víz ammóniakoncentrációja, és ez optimális oxigénszint-szabályozás által akár 40% költségmegtakarítást jelent. Az ilyen rendszerek hatékonyságát meghatározza a szabályozó paraméterek szakszerű finomhangolása, amely azonban még további kutatást igényel. Ezen túlmenően a szerzők membrán-bioreaktor típusú, valamint kötöttágyas és mozgótöltetes technológiák energetikai összehasonlítását is tervezik megvalósítani jövőbeli tanulmányok keretében.

Felhasznált irodalom

- ASHLEY, Kenneth I. – MAVINIC, Donald S. – HALL, Kenneth J. (1992): Bench-Scale Study of Oxygen Transfer in Coarse Bubble Diffused Aeration. *Water Research*, 26(10), 1289–1295. Online: [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(92\)90123-L](https://doi.org/10.1016/0043-1354(92)90123-L)
- BENCsik, Dániel – TAKÁCS, Imre – ROSSO, Diego (2022): Dynamic Alpha Factors: Prediction in Time and Evolution Along Reactors. *Water Research*, 216, 118339. Online: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118339>
- CZAKÓ Levente – KARCHES Tamás (2019): Decentralizált szennyvíztisztítás szerepe a települési vízgazdálkodásban. *Hadmérnök*, 14(1), 72–79. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2019.1.7>

- GAZSÓ, Zita et al. (2017): Full-Scale Wastewater Treatment Plant Simulation for Real-Time Optimization. *Water Practice and Technology*, 12(4), 848–856. Online: <https://doi.org/10.2166/wpt.2017.091>
- INSEL, Güçlü et al. (2002): Important Limitations in the Modeling of Activated Sludge: Biased Calibration of the Hydrolysis Process. *Water Science and Technology*, 45(12), 23–36. Online: <https://doi.org/10.2166/wst.2002.0406>
- JIANG, Lu-Man et al. (2017): Modelling Oxygen Transfer Using Dynamic Alpha Factors. *Water Research*, 124, 139–148. Online: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.032>
- KARCHES Tamás – PAPP Tamás (2018): Egyedi szennyvíztisztító kisberendezés alkalmazhatóságának bemutatása. *Műszaki Katonai Közlemény*, 28(4), 158–163. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/mkk/article/view/1536>
- LIU, Hongbin – Yoo, ChangKyoo (2016): Cascade Control of Effluent Nitrate and Ammonium in an Activated Sludge Process. *Desalination and Water Treatment*, 57(45), 21253–21263. Online: <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1119741>
- MEDINA, Victor F. – WAISNER, Scott A. (2011): Chapter 25: Military Solid and Hazardous Wastes – Assessment of Issues at Military Facilities and Base Camps. In LETCHER, Trevor M. – VALLERO, Daniel A. (szerk.): *Waste. A Handbook for Management*. Amsterdam – Boston – Heidelberg – London – New York – Oxford – Paris – San Diego – San Francisco – Singapore – Sydney – Tokyo: Academic Press, 357–376. Online: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381475-3.10025-7>
- NOVOTNY, Vladimir (2008): Sustainable Urban Water Management. In FEYEN, Jan – SHANNON, Kelly – NEVILLE, Matthew (szerk.): *Water and Urban Development Paradigms*. London: CRC Press, 19–31.
- OBAIDEEN, Khaled et al. (2022): The Role of Wastewater Treatment in Achieving Sustainable Development Goals (SDGs) and Sustainability Guideline. *Energy Nexus*, 7, 100112. Online: <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100112>
- RIEGER, Leiv et al. (2006): Modelling of Aeration Systems at Wastewater Treatment Plants. *Water Science and Technology*, 53(4–5), 439–447. Online: <https://doi.org/10.2166/wst.2006.100>
- VAN LOOSDRECHT, Mark C. M. et al. (2015): Twenty-Five Years of ASM1: Past, Present and Future of Wastewater Treatment Modelling. *Journal of Hydroinformatics*, 17(5), 697–718. Online: <https://doi.org/10.2166/hydro.2015.006>
- ZHANG, Bing et al. (2023): Effect of Superficial Gas Velocity on Membrane Fouling Behavior and Evolution During Municipal Wastewater Treatment. *Separation and Purification Technology*, 315, 123665. Online: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.123665>

A hadfelszerelési igények kielégítése magas fenyegetettségi szint mellett

Magas fenyegetettségi szint mellett felborulnak a hadfelszerelés-szükséglet kielégítésére béke-időszakban alkalmazott eljárásrendek. A magas fenyegetettségi szint egyes hadfelszerelések esetében rendkívül magas keresletet indukálhat, amelyre a békeidőszaki termelés/beszállítás nincs minden esetben felkészülve, így egyes hadfelszerelések hiánycikként jelenhetnek meg, ami a fogyasztói ár automatikus piaci emelkedését generálja. Hipotézisünk szerint keletkezhet olyan állapot, amely meghaladja a piaci kínálati lehetőségeket, és egyes esetekben még ár nélküli esetben sem lesz képes teljesíteni a piac a rendkívüli kereslet kielégítését. Tanulmányunkban közgazdasági megközelítéssel vizsgáljuk a piac viselkedését fenyegetettségi szint esetén.

Kulcsszavak: hadfelszerelés, magas fenyegetettségi állapot, abnormális piaci viszonyok

MEETING ARMAMENTS AND MILITARY EQUIPMENT NEEDS AT HIGH THREAT LEVELS

At high threat levels, procedures for supplying armaments and military equipment needs for peacetime are disrupted. High threat level can induce extremely high demand for some armaments and military equipment, for which peacetime production/supply is not always prepared for; so that some armaments and military equipment may appear as a shortage, generating an automatic increase in the consumer price. Our hypothesis is that a situation may arise where the market supply exceeds the market's potential and, in some cases, even without a price, the market will not be able to meet the exceptional demand. In our study, we use an economic approach to investigate the behaviour of the market under threat levels.

Keywords: armaments and military equipment, high threat status, abnormal market conditions

Bevezetés

Roland Neely McKean (1917–1993) és Charles J. Hitch (1910–1995), két amerikai közgazdász 1960-ban jelentette meg *The Economics of Defense in the Nuclear Age* című munkáját, amelyben közgazdasági szemlélettel a védelem

gazdasági problémájaként alapvetően három, egymással kölcsönösen összefüggő tényezőt azonosít:¹

- a nemzeti erőforrások mennyiségét és minőségét;
- a nemzeti erőforrások védelmi célra elkülönített (rész)arányát;
- a védelmi célra elkülönített erőforrások felhasználásának hatékonyságát.

A védelmi célú – *általános értelemben vett (így többek között anyagi és szolgáltatási)* – erőforrások korlátossága, bármely irányból is nézzük, egészen a pénzügyi erőforrások rendelkezésre állásának mértékére vezethető vissza. Ezen, a védelmi kiadások szükséges és elégséges mértékét érintő kérdéskör – főként, hogy a „magas” védelmi kiadásmérték pozitív vagy negatív hatással van-e a gazdaságra – folyamatos társadalmi vitatéma.² Éppen ezért különösen fontos a biztonság mint közjószág megteremtését célzó védelem kialakítására fordított pénzügyi erőforrások megfelelő (társadalom számára is elfogadható) mértékének kialakítása, valamint hatékony felhasználásának (megfelelő mennyiségű és minőségű hadfelszerelés-beruházás) folyamatos és egyben a kor kihívásaihoz igazított vizsgálata.³

Az angol polihisztor és mérnök Frederick William Lanchester (1868–1946) 1916-ban *Aircraft in Warfare: The Dawn of the Fourth Arm* című munkájában

¹ HITCH–McKEAN 1960.

² Gansler írásában rámutat arra, hogy az adott kérdéskör a szakterületi közgazdászok között is igen megosztó. Példaként említi, hogy míg Merritt Roe Smith a „katonai vállalkozás központi szerepét” hangsúlyozza az Amerikai Egyesült Államok ipari nagyhatalommá válásában, addig az ellentábor (például Lloyd Dumas) annak kereskedelmi-gazdasági folyamatokra gyakorolt negatív hatása mellett foglal állást (például szükséges mértéken túli erőforrás-elvonás a kereskedelmi-gazdasági folyamatok kárára). GANSLER 1991: 82.

³ Magyar vonatkozásban a Biztonságpolitikai és Honvédelmi Kutatások Központja Alapítvány (BHKK Alapítvány) gondozásában 2003-ban megjelent *Az erőforrások hatékony felhasználásának tervezése a védelmi szférában, különös tekintettel a pénzbeni erőforrásokra* címet viselő tanulmány. MOLNÁR 2003. A tanulmány – mint a neve is mutatja – különös jelentőséget tulajdonít a védelmi szféra számára rendelkezésre álló – többek között – pénzügyierőforrás-felhasználás vizsgálatának. Azonban ha alaposabban megfigyeljük, a múltbeli adatokat és eljárásrendeket feldolgozó tanulmány készítésének dátuma több évvel ezelőttre datálható, amikor a GDP-részarányos költségvetési támogatás 1999-ig megfigyelhető csökkenése után rövid időre emelkedő pályára állt. Mindezekről eltekintve az akkor éppen emelkedő pályán lévő védelmi kiadások által meghatározott korszakot a tanulmány szerzője többek között az alábbi kijelentéssel jellemzi: „A gazdasági tervezés folyamán nem készülnek el a szükséges részletességű megvalósíthatósági tanulmányok, valamint költség- és hatékonysági elemzések.” MOLNÁR 2003: 50. Szintén ezt támasztja alá nemzetközi viszonylatban Vernon W. Ruttan 2006-ban megjelent írása is. A szerző szerint: „Ritka kivételektől eltekintve haszon-költség számításokat nem végeztek.” RUTTAN 2006: 162.

megjelent, majd Peterson,⁴ Robert L. Helmbold⁵ és végül Bracken⁶ által továbbfejlesztett differenciálegyenlet-szemléletű törvényként ismert formulák óta egzakt módon, matematikai alapokra helyezetten ismert, hogy a háború megvívására történő felkészülés, valamint a háború megvívása esetén a hadfelszerelések fajtája és mennyisége nem hagyható figyelmen kívül.⁷ Ezen termékek és eszközök kereslete a biztonsági környezet egyes változásaival erősen oszcillálhat, és egyes hadfelszerelések a fenyegetettség-szint-emelkedésre nem várt piaci (mennyiségi ár) reakciót mutathatnak. Ezen nem várt hatás okán olyan állapot alakulhat ki, amelyet a közgazdaságtanban jól ismert – és a *védelmi gazdálkodás területén is jelentkező* – piaci túlkereslet névvel illethetünk, és ilyenkor még ár nélküli esetben sem lesz képes teljesíteni a piac a rendkívüli hadfelszerelés-kereslet kielégítését.

Közgazdaságtan vs. katonai gazdálkodás

A védelem alapvető társadalmi igény. A védelem megteremtésének tervezése (védelemgazdaság) iránt megmutatkozó civilizációs igény írásban rögzített csírái már az ókori Kelet közel négyezer éves múlttal rendelkező Gilgames-eposzában fellelhetők.⁸ A védelem szót azonban mind elméleti, mind gyakorlati megközelítésben több olyan fogalom eufemizmusaként használják, mint a háború (ütközet), a hadfelszerelés, a hadsereg/honvédelem stb.⁹

Lanchester hivatkozott munkája kellően rávilágított arra, hogy egy ütközetben a hadfelszerelések semmilyen dimenzióban nem hagyhatók figyelmen kívül. Hitch és McKean említett írásában kiemeli, hogy szükséges, ugyanakkor nem elégséges megtalálni az egyensúlyt a gazdaság teljesítőképessége és a védelemre fordított

⁴ Peterson a Lanchester-modell logaritmikus alkalmazását mutatta be harcokcsütközetekre vetítetten. PETERSON 1967.

⁵ Helmbold fedezte fel, és bizonyította, hogy a Lanchester által légi csatákra megalkotott modell a szárazföldi harci eseményekre ugyanúgy alkalmazható. HARTLEY 1990: 2.

⁶ BRACKEN 1995.

⁷ Hadfelszerelési (technikai) erőfölény.

⁸ Részletesen lásd SEDLÁČEK 2012.

⁹ Például: a védelmi rendszerek valójában fegyverrendszerek; a védelmi ipar valójában fegyveripar; a védelmi technológia valójában hadfelszerelés (haditechnika). „Ha csak védelmi felszerelést adunk el barátaink és szövetségeseink védelmi képességei javítása érdekében, ki tud ezzel vitatkozni? De amikor mi és szövetségeseink felfegyverezzük a világot, barátot és ellenséget egyaránt, az már más kérdés/megközelítés.” KELLER 1995: xii.

részarány között, és meglátásuk szerint előtérbe kell helyezni a védelem hatékonyságának maximalizálását is, amellyel kapcsolatban az alábbiaképpen fogalmaznak: „A gazdasági erő ugyanolyan fontos, mint eddig bármikor, azonban ennek az erőnek a katonai erővé alakítása, az így átalakított gazdasági erő aránya és az [gazdasági és katonai] erők hatékonysága kritikus fontosságúvá vált – szemben néhány elméleti maximális potenciállal, amely a háború kitörése utáni hadianyaggyártásra irányul.”¹⁰ A probléma alapkőve tehát az elrettentés hadászatának szükségessége (*igen – nem – milyen mértékben*) körül keresendő.¹¹

A katonai, valamint a klasszikus közgazdasági gondolkodás közötti szemléletkülönbségre¹² visszavezethetően a történelem során számtalanszor megfigyelhető, hogy a békeidőszaki tartalékok és a háborús ipari termelés egyensúlyának problémája folyamatosan visszatérő vizsgálati kör. Az egyes nemzetek régóta küzdenek azért, hogy megtalálják az optimális egyensúlyt a kérdéskör e két kulcsfontosságú eleme között. A múltban a háborúkat gyakran az a nemzet nyerte meg, amelyik – adott haderőlétszám és rögzített stratégiai eljárás mellett – nagyobb és modernebb fegyver- és lőszerkészlettel¹³ rendelkezett.¹⁴ A modern hadviselésben azonban a fegyverek gyors és hatékony előállításának képessége ugyanolyan fontos, mint a készletnagyság kérdésköre. A tartalékok és a termelés egyensúlyának kérdése különösen a modern hadviselés korában válik égetővé. A modern fegyverrendszerek hihetetlenül összetettek, és rengeteg speciális alkatrészt igényelnek.¹⁵ Ez azt jelenti,

¹⁰ HITCH–MCKEAN 1960: iii.

¹¹ Thürmer cikkében úgy fogalmaz: „Ezért a hadászatnak egyik aktuális problémája, hogy milyen arányt kell biztosítani a békeidőszakban képzett tartalékok és a háborús ipari termelés között.” THÜRMER 1983: 14.

¹² Király László, a hadtudomány kandidátusa, védelemgazdasági szakértő előadásai alapján: katonai gondolkodás (zéró összegű játszma): hierarchikus szervezetek, ahol jellemző a kényszerítő erő alkalmazása, és eredményként a művelet hozadéka negatív. Közgazdasági szemlélet (nem zéró összegű játszma): megegyezés, kockázatmegosztás és szerződéses viszonyok között működő decentralizált és versengő szervezetek, ahol a művelet hozadéka mindkét fél részére – többségében – pozitív (*win-win* helyzet).

¹³ Hadianyagkészlettel, tágabb értelemben hadfelszereléssel.

¹⁴ *Példa 1.* Francia–porosz háború (1870–1871): a porosz hadsereg technológiai fölénye, elsősorban a modern gyártású fegyverek (például a Dreyse tűzfegyver) alkalmazásán keresztül, lehetővé tette számára, hogy gyors és hatékony hadműveleteket végezzen. *Példa 2.* Koreai háború (1950–1953): Az Amerikai Egyesült Államok által nyújtott légielő-támogatás és hadfelszerelés, mint például a modern vadászgépek és tüzérség, döntő fontosságú volt a dél-koreai és az ENSZ-csapatok győzelmében a kommunista Észak-Korea és szövetségesei fölött.

¹⁵ Lásd például az M1 Abrams nehéz harckocsit, amely különböző típusú páncélvédelmi rendszerekkel, elektronikai érzékelőkkel és fegyverrendszerekkel van felszerelve, beleértve a 120 mm-es főágyút,

hogy egy nemzet azon képessége, hogy ezeket az alkatrészeket gyorsan és hatékonyan elő tudja állítani (vagy beszállítással rendelkezésre állását tudja biztosítani), gyakran korlátozó tényező hadviselési képességében. Továbbmenve kijelenthető, hogy a (hadfelszerelési) tartalékok és a (hadfelszerelési) termelés egyensúlyának problémája nemcsak katonai jellegű, hanem jelentős gazdasági és politikai következményei is vannak. Békeidőben az ipari termelésbe való beruházás költséges lehet, és az adófizetők számára nehéz lehet igazolni a kiadásokat. A másik oldalról belátható, hogy háború idején a szükséges hadfelszerelések gyors előállításának képessége győzelem-vereség kérdés is lehet, valamint a tartalékok és a termelés egyensúlyának kérdése szorosan kapcsolódik az elrettentés koncepciójához is.

A hadfelszerelés-fejlesztés és a hadfelszerelés-ellátás szükségessége összetett kérdés, amelyet számos tényező befolyásol (így különösen, de nem kizárólagosan az adott lakosság által érzékelt biztonsági szint). Amennyiben a lakosság (nemzet) sebezhetőnek és fenyegetettnek érzi magát, nagyobb valószínűséggel követel nagyobb beruházást a biztonsági szint emelését illetően, ebbe beleértve a fegyveres erők (hadfelszerelés-beruházás) fejlesztését is.¹⁶ Ennek megfelelően a szűköségi problémák által körülhatárolt hadfelszerelés-fejlesztés és hadfelszerelés-ellátás szükségességének kérdése a biztonságérzettel fordítottan korrelál, aminek

az automatikus töltőt, valamint a korszerű célmeghatározó rendszereket, vagy az MQ-9 Reaper harci drónokat, amelyek kifinomult navigációs, célzó és kommunikációs rendszerekkel rendelkeznek, amelyek összesen több ezer speciális alkatrészből állnak! Az érzékelők és a fegyverek integrációja rendkívüli technológiai kihívásokat jelent.

- ¹⁶ *Példa 1.* Magyarország a II. világháború után: a háború utáni időszakban a szovjet fenyegetettség érezte hatását Közép-Európában, beleértve Magyarországot is. A társadalomban tapasztalható béke iránti vágy, a külpolitikai nyomás, valamint az akkor mindenki által várt III. világháborúra való felkészülés, továbbá a szovjet igényeknek való kiemelkedő megfelelés iránti vágy következtében a magyar kormány megnövelte a védelmi költségvetést, hogy meg tudja védeni az ország érdekeit a nyugati hatalmak és a szovjet blokk közötti feszültség időszakában. *Példa 2.* A hidegháború időszaka: a hidegháború alatt a NATO-országok (különösen az Amerikai Egyesült Államok) jelentős védelmi kiadási szinttel rendelkeztek, hogy reagáljanak az akkori szovjet fenyegetésre. A társadalmi támogatottság, amely a békéhez való vágy mellett a védelem megerősítését is hangsúlyozta, hozzájárult a katonai kiadások növeléséhez. A híres „Reagan-doktrína” is például a szovjet fenyegetés elleni harchoz szükséges pénzügyi források növelésére épített. *Példa 3.* Ukrajna a 2014-es krími válság után: 2014-ben, miután Oroszország annektálta a Krimet, és kitört a kelet-ukrajnai konfliktus, a társadalmi támogatottság a katonai kiadások növelése mellett alakult. A lakosság érzése, hogy nem lehet biztosítatlannal hagyni az ország védelmét, hozzájárult ahhoz, hogy az ukrán kormány radikálisan megnövelje a védelmi költségvetését az orosz fenyegetés ellenére. A fenti példákkal szemben, ha a lakosság (nemzet) biztonságban érzi magát, kevésbé aggódik az érintett, biztonságérzetet növelő fejlesztés szükségessége miatt, és inkább más prioritásokra összpontosít.

értelmében minél alacsonyabb a biztonságérzet, annál magasabb az igény (hajlandóság) az adott biztonságdimenziót érintő fejlesztésre, és fordítva. A fő kérdés azonban az, hogy mekkora mértékű erőforrást hajlandó az adott nemzet biztonság-érzete növelésének érdekében „használni”.

Magas fenyegetettségi szint melletti hadfelszerelés-ellátás

Magas fenyegetettségi szintet jellemzően két szélsőséges módon érhetünk el. Az elsőt a folyamatosan, lassan kialakuló állapot jelenti, amelyre a gazdaságnak van ideje és lehetősége felkészülni. A másik oldalt tekintve rendkívül gyorsan kialakuló állapotról beszélünk, amelyet sem a társadalom, sem a hadigazdálkodás, sem a közgazdasági oldal nem vagy csak nagyon nehezen képes lekövetni.

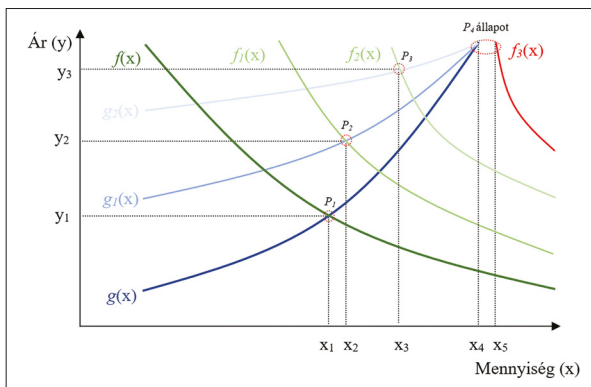
Magas fenyegetettségi szint mellett a béke helyreállítását követelő magas társadalmi támogatottság eredménye a magasabb társadalmi használdozat vállalása, amely emelkedő/magas védelmi költségvetési szint – azaz magas költségvetési korlát – formájában jelentkezik.¹⁷ Az emelkedő/magas védelmi költségvetési korlát azonban nem feltétlenül jelenti a hadfelszerelés-szükséglet nagyobb mennyiségű, valamint jobb minőségű kielégítését.¹⁸ Magas fenyegetettségi szint mellett felborulnak a békeidőszakban alkalmazott eljárásrendek.¹⁹ A békeidőszakban megkötött megállapodások, szerződések ugyanis békeidőszaki állapotokat, peremfeltételeket rögzítenek.²⁰ A magas fenyegetettségi szint egyes hadfelszerelések

¹⁷ „A háború nem más, mint az állampolitika folytatása megváltozott eszközökkel” CLAUSEWITZ 1917: 7. Példaként lásd az előző lábjegyzetet!

¹⁸ Például: számos NATO-tagállam, különösen a 2000-es évek elejétől, folyamatosan emelte a védelmi költségvetését, de a hadseregek modernizálására irányuló beruházások nem mindig valósultak meg. Sok esetben a megemelkedett költségvetési forrásokat az infrastruktúrára, az adminisztrációra vagy a személyzet juttatásaira fordították, így a hadfelszerelés-fejlesztés és a harcászati valódi növekedése elmaradt a vártaktól (például: Lettország, Bulgária, Románia stb.).

¹⁹ Például: az ukrán háború 2022. februári kitörése a NATO-tagországok számára szükségessé tette a védelmi kiadásainak növelését és a hadfelszerelések fejlesztési ütemtervének felgyorsítását. Például több ország, mint Lengyelország és Litvánia, jelentős befektetéseket indított új harcjárművek, légvédelmi rendszerek és nehézfegyverzet beszerzésére. A magas fenyegetettségi szintek arra kényszerítik a haderőket, hogy felgyorsítsák a technológiai innovációkat, mint például a mesterséges intelligencia és a kibervédelem fejlesztése, amelyek most már nemcsak hosszú távú stratégiák, hanem sürgős prioritások.

²⁰ Szintén erre a következtetésre jutunk Nolan dolgozatának tanulmányozásakor. NOLAN 1986: 79. Például békeidőszakban, adott inflációs környezethez rögzített késedelmi kamat 10%, a nem teljesítési (meghiúsulási) kötbér mértéke 25%. Emelkedő fenyegetettségi szint esetén a kamatlábak



4.1. ábra. A hadfelszerelések piaci viszonya, ahol $f(x)$ a piaci keresleti függvényt, $g(x)$ a piaci kínálati függvényt, $f_1(x)$, $f_2(x)$, valamint $f_3(x)$ a hadfelszerelések romló biztonsági körülmények közötti keresleti függvény-, míg $g_1(x)$ és $g_2(x)$ ugyanezen állapotok kínálati függvényváltozását szemlélteti.

Forrás: a szerzők szerkesztése

esetében rendkívül magas keresletet indukálhat, amelyre – különösen az említett, rendkívül gyorsan kialakuló állapotban – a békeidőszaki termelés/beszállítás nincs minden esetben felkészülve, így egyes hadfelszerelések hiánycikként jelenhetnek meg, ami a fogyasztói ár automatikus piaci emelkedését generálja. Ezen hadfelszereléseket érintően a 4.1. ábrán megfigyelhető, hogy a piac mindent elkövet, hogy a romló biztonsági környezetben jelentkező rendkívüli – *abnormálisnak tekinthető*²¹ – keresletet kielégítse, mégis keletkezhet olyan állapot, amely

emelkedésével egyidejűleg egyes hadfelszerelési termékek értéke (ezáltal piaci ára) is emelkedik. Amennyiben ezen emelkedés mértéke eléri vagy jelentősen meghaladja a szerződésben/megállapodásban rögzített késedelmi kamat, vagy nem teljesítésből (meghiúsulásból) adódó kötbérfizetési kötelezettség mértékét, a piaci szereplő automatikusan a magasabb haszonnal járó opciót fogja választani. Ez esetben az újonnan megfigyelhető piaci árból elveszti ugyan az említett 10/25%-os mértéket, azonban a termékértékesítésből adódó nyeresége még így is kompenzálja a döntését. A megjelöltek figyelembevételével egyetértek Szajkó azon kijelentésével, miszerint: „A nemzetgazdaság hadiipari termelésre történő áttérésekor az elsődleges szempont az, hogy a létfontosságú termékek, szolgáltatások rendelkezésre álljanak a szükséges helyen, időben, és az már csak másodlagos tényező, vagy egyáltalán nem számít, hogy a vállalat mennyire versenyképes vagy mennyire képes exportálni rendkívüli állapot kihirdetésekor”. SZAJKÓ 2021: 117.

²¹ Keresleti oldalon döntően nemzeti kormányok szerepelnek, amelyek céljaik elérése érdekében mind iparméleti, -szerkezeti, -magatartási tényezőket figyelembe véve hozzák meg a gazdasági és/

meghaladja a piaci (monopólium, duopólium vagy oligopólium) jellegű²² kínálati lehetőségeket, és egyes esetekben még ár nélküli esetben sem lesz képes teljesíteni a piac a rendkívüli kereslet kielégítését.

A 4.1. ábrán használt jelölések és azok magyarázata:

- $P_1 \rightarrow f(x) \sim g(x)$: adott (vizsgált) biztonsági szint mellett az adott hadfelszerelés piaci egyensúlyi állapota figyelhető meg (piaci egyensúlyi ár, valamint piaci egyensúlyi mennyiség mellett);
- növekvő fenyegetettségi szint mellett – *annak mértékétől függően* – a hadfelszerelési termékeket érintően piactorzult viselkedés látható, amelynek esetei:
 - $P_2 \rightarrow f_1(x) \sim g_1(x)$: minimális keresleti növekedést figyelhetünk meg [$f_1(x)$], azonban a kínálat [$g_1(x)$] ezt még képes kielégíteni; hatás: közel azonos mennyiség (x_2), jelentősen magasabb ár (y_2);
 - $P_3 \rightarrow f_2(x) \sim g_2(x)$: jelentősen romló biztonsági körülmény esetén nő a kereslet [$f_2(x)$], amit – *az alapvetően technológiai, eljárásrendi, valamint piaci magatartási korlátokra (lehetőségmaximumokra) visszavezethető okok által korlátozott* – piaci kínálat [$g_2(x)$] már alig képes lekövetni; a keresleti igény (x_4) teljes körű kielégítése (P_3 állapot) éppen megvalósul;
 - $P_4 \rightarrow f_3(x) \sim g_2(x)_{\max}$: a kínálati oldal már x_4 pontban elérte a maximumát; az egyre romló biztonsági környezet azonban a keresleti oldalt tovább élénkíti [$f_3(x)$], ami totális turbulenciát okoz a piacon; a P_4 állapotban a gazdasági teljesítőképesség teljes vertikumának a védelemgazdasági igény kielégítésére fordítása melletti védelemgazdasági igénykielégítetlenségi állapot jelentkezik ($x_4 \sim x_5$), amelynek védelemre és gazdaságra gyakorolt hatása megjósolhatatlan.

Megfigyelhető, hogy emelkedő fenyegetettségi szint mellett egységnyi mennyiség magasabb kínálati áron áll rendelkezésre, amiből következik, hogy egységnyi pénzmennyiségért várhatóan alacsonyabb mennyiségű és/vagy minőségű hadfelszerelési termék beszerzése lehetséges, ami kedvezőtlenül befolyásolja az adott termék biztonságiszint-növelő hatása békeidőszakban elvárt alakulásának valós kimenetelét. Látható ugyanakkor, hogy még a pénzügyi erőforrások korlátok nélküli rendelkezésre állása esetén is számolnunk kell a piaci turbulens hatás okozta

vagy nem gazdasági alapokon nyugvó beruházási döntéseiket. Továbbá: „2004-ben az EU védelmi hadfelszerelések beszerzéseinek – érték alapján számított – mintegy 80%-a nemzetbiztonsági okokból (296. cikk) mentesült az EU közbeszerzési szabályai alól”. HARTLEY et al. 2008: 92–93.

²² HARTLEY et al. 2008: 92.

kihívásokkal, ami többek között ártól független keresletioldal-kielégítetlenséget fog okozni.

Ez a helyzet a speciális védelmi piaci szegmensnek tudható be. A mai modern, védelmi iparra szakosodott cégeknek/vállalatoknak – ha szükséges, kormányzati támogatással, de – számolniuk kell a keresleti oldal erős bizonytalansági faktoraival, amelyeket főként a biztonsági szint mértéke és a korábban említett egyedi kormányzati magatartások okoznak. Habár az adott védelmi ipari vállalatok ezen kockázatokat igyekeznek alternatív szervezeti modell²³ alkalmazásával csökkenteni,²⁴ a meghatározott tényezőknek köszönhetően nem klasszikus versenypiaci körülményt figyelhetünk meg, ami óriási kockázatot jelent az iparági vállalatok számára. Ezen kockázat csökkentése érdekében az érintett vállalatok kerülnek a túlzott kapacitásfenntartással együtt járó extra költségeket, ami – a 4.1. ábrán bemutatottak szerint – egyes esetekben jelentős piaci túlkeresletet generálhat.²⁵

Összefoglalás

Köztudott, hogy egy fegyveres küzdelem kimenetelének becslése, az arra történő felkészülés végrehajtásának szükségessége megkérdőjelezhetetlen kötelessége az érintett vezetőknek. A tudomány által kínált (reáltudományi) eszközök, az alkalmazásukkal rendelkezésünkre álló – összetett és bonyolult folyamatokat érintő – egyszerűsítési lehetőségek igen hasznosak a valós helyzetek elemzéséhez.

Jelen tanulmányban a háború mint a játékelméleten belüli negatív végösszegű játszma, továbbá a fenyegetettségi szint emelkedéskori hadfelszerelési termékek piaci viszonyába (a mennyiség-ár kapcsolatrendszerbe) adtunk betekintést. Ismertettük, hogy habár egy ütközet kimenetelét számos tényező befolyásolja, a hadfelszerelés mennyisége és hatékonysága nem hagyható figyelmen kívül.

²³ Katonai és polgári igények kiszolgálása egyazon gyártósorról (kettős felhasználás).

²⁴ Például az amerikai RTX Corporation (korábban Raytheon Technologies) különféle radar- és érzékelőrendszereket fejleszt, amelyeket civil légi forgalmi irányításra és katonai célokra egyaránt használnak; a brit BAE Systems kiberbiztonsági technológiai nemcsak katonai rendszerek védelmét szolgálják, hanem kritikus infrastruktúra, például a banki és az energiaszektor biztonságát is; az amerikai General Dynamics, valamint a magyar Gamma Műszaki Zrt. olyan (páncélozott) járműveket fejleszt, amelyek harci helyzetekben és civil felhasználásra (például rendészeti és katasztrófaelhárítási alkalmazásokhoz) egyaránt alkalmasak; az izraeli Rafael Advanced Defense Systems által kifejlesztett előrejelző érzékelők és drónok használhatók katonai megfigyelésre, de alkalmasak mezőgazdasági megfigyelésre és környezetvédelmi ellenőrzésekre is.

²⁵ HARTLEY et al. 2008: 93.

Ezen igény azonban képes a piaci egyensúly felborítására és egyes esetekben a kínálati oldal által kiegyensúlyozhatatlan túlkereslet generálására.

A siker eléréséhez szükséges hadfelszerelést érintően megállapítottuk, hogy a társadalom különböző időszaki áldozatvállalási készsége meglehetősen erős költségvetési korlátot jelent, amely főként a haderőfenntartás és -fejlesztés rendelkezésére álló költségvetési források mértékében nyilvánul meg, és a hadfelszerelés-tervezés egyik szigorú sarokköve. Ismertettük, hogy a magas biztonsági szint hogyan függ össze a rendelkezésre álló lehetőségeket erősen korlátozó alacsony költségvetési lehetőséggel (klasszikus piaci keresleti, valamint kínálati függvények). A piaci egyensúlyi helyzetet vizsgálva a 4.1. ábrán újszerűen, eddig nem ismert módon mutattuk be, hogy létezik olyan állapot, amelyben a hadfelszerelés-beruházási igények jelentősen túlmutatnak a piaci (importtal növelt gazdasági) lehetőségeken. A tanulmányban ismertetettek alapján megállapítható, hogy keletkezhet olyan állapot, amely meghaladja a piaci kínálati lehetőségeket, és egyes esetekben még ár nélküli esetben sem lesz képes teljesíteni a piac a rendkívüli hadfelszerelés-kereslet kielégítését.

Felhasznált irodalom

- BRACKEN, Jerome (1995): Lanchester Models of the Ardennes Campaign. *Naval Research Logistic*, 42(4), 559–577. Online: [https://doi.org/10.1002/1520-6750\(199506\)42:4%3C559::AID-NAV3220420405%3E3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/1520-6750(199506)42:4%3C559::AID-NAV3220420405%3E3.0.CO;2-R)
- CLAUSEWITZ, Carl von (1917): *A háborúról*. Ford. Hazai Samu. Budapest: Athenaeum.
- GANSLER, Jacques S. (1991): *Affording Defense*. Cambridge, MA – London: MIT Press.
- HARTLEY, Keith – BELLAI, Renauld – HÉBERT, Jean-Paul (2008): The Evolution and Future of European Defence Firms. In FONTANEL, Jacques – CHATTERJI, Manas (szerk.): *War, Peace and Security*. Leeds: Emerald Group Publishing, 83–104. Online: [https://doi.org/10.1016/S1572-8323\(08\)06006-2](https://doi.org/10.1016/S1572-8323(08)06006-2)
- HITCH, Charles J. – MCKEAN, Roland N. (1960): *The Economics of Defence in the Nuclear Age*. Santa Monica: RAND Corporation. Online: <https://rand.org/pubs/reports/R346.html>
- KELLER, William W. (1995): *Arm in Arm. The Political Economy of the Global Arms Trade*. New York: Basic Books.
- KENNEDY, Gavin (2024): Defense Economics. *Britannica Money*, 2023. május 4. Online: www.britannica.com/money/defense-economics
- LANCHESTER, Frederick William (1916): *Aircraft in Warfare. The Dawn of the Fourth Arm*. London: Constable & Co. Online: www.forgottenbooks.com/en/download/AircraftinWarfare_10170339.pdf
- MOLNÁR Bálint et al. (2003): *Az erőforrások hatékony felhasználásának tervezése a védelmi szférában, különös tekintettel a pénzbeni erőforrásokra*. Budapest: BHKK Alapítvány. Online: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.23695.59043>

- NOLAN, Janne E. (1986): *Military Industry in Taiwan and South Korea*. New York: St. Martin's Press. Online: <https://doi.org/10.1007/978-1-349-18116-2>
- PETERSON, R. H. (1967): Letter to the Editor – On the „Logarithmic Law” of Attrition and its Application to Tank Combat. *Operations Research*, 15(3), 557–558. Online: <https://doi.org/10.1287/opre.15.3.557>
- RUTTAN, Vernon W. (2006): *Is War Necessary for Economic Growth? Military Procurement and Technology Development*. Oxford: Oxford University Press. Online: <https://doi.org/10.1093/0195188047.001.0001>
- SEDLÁČEK, Tomáš (2012): *A jó és a rossz közgazdaságtana*. Ford. Garamvölgyi Andrea. Budapest: HVG Könyvek.
- SZAJKÓ Gyula (2021): A hadfelszerelési igények tervezése és biztosítása a különleges jogrendi időszak bevezetésekor. *Honvédségi Szemle*, 149(6), 105–117. Online: <https://doi.org/10.35926/HSZ.2021.6.8>
- THÜRMER Gyula (1983): A háborús ipari termelés szükségességéről és lehetőségéről. *Hadtápbiztosítás*, 16(3), 12–25. Online: https://epa.oszk.hu/03000/03059/00063/pdf/EPA03059_hadtapbiztositas_1983_3_012-025.pdf

A magas automatizáltságú katonai és polgári közlekedési járművekben megtalálható digitális adatok hozzáférhetőségének és értelmezhetőségének kihívásai

A digitális forenzikus vizsgálatok különféle módszereket, eszközöket és technikákat foglalnak magukban, amelyek kulcsfontosságúak a polgári és a fegyveres erők esetén is a digitális bizonyítékokhoz való hozzáféréshez, azok vizsgálatához és elemzéséhez. A járművek folyamatos fejlődésével, automatizáltsági szintjük növekedésével a működésük, valamint a segítségükkel történő feladatellátás egyre szélesebb körű adatforrásokat, -feldolgozást és -kezelést igényel. A járművek által különböző informatikai rendszerekből és rendszerelemekből gyűjtött, a járműben vagy a kapcsolódó rendszerekben tárolt és jellemzően vezeték nélküli kommunikációs csatornán továbbított adatok hozzáférhetővé tétele, valamint az adatok feldolgozása és értelmezése új kihívást jelent a szakértők számára. Tanulmányunk célja meghatározni a modern közlekedési járművek szakértői vizsgálata során elérhető adatok hozzáférési módjait, kihívásait és lehetőségeit.

Kulcsszavak: forenzikus szakértői vizsgálat, önvezető járművek, szakértői vizsgálat

THE CHALLENGES OF ACCESSIBILITY AND INTERPRETABILITY OF DIGITAL DATA FOUND IN HIGHLY AUTOMATED MILITARY AND CIVILIAN TRANSPORT VEHICLES

Digital forensics encompasses a variety of methods, tools, and techniques that are key to accessing, examining, and analysing digital evidence for both civilian and military forces. With the continuous development of vehicles and the increase in their level of automation, their operation and the performance of tasks with their help require a wider range of data sources, data processing, and management. The accessibility of data collected, and stored by vehicles from the environment, different IT systems, and system components, are typically transmitted via wireless communication channels. The processing and interpretation of data pose a new challenge for experts. The aim of this study is to identify the methods, challenges, and opportunities of accessing the data available during the expert examination of modern transport vehicles.

Keywords: forensics examination, autonomous vehicles, vehicle examination

Bevezetés

A katonai műveletekhez kapcsolódó logisztikai feladatokban és a polgári közlekedésben egyaránt megjelennek a magas automatizáltságú, modern, professzionális technológiai eszközökkel felszerelt járművek. Működésük alapját a rendkívül gyors adatgyűjtő és -feldolgozó képesség, valamint a fejlett kommunikációs megoldások képezik. A modern járművek adatfeldolgozása három fő feladatcsoport köré épül. Egyrészt a környezetérzékelés: a jármű különböző szenzoraiból (kamera, lézer, radar, ultrahang stb.) alkotott érzékelőhálózat folyamatosan felméri a környezet változását. Célja a környezetről olyan pontos és megbízható modell előállítása, amely lehetővé teszi a szituációértékelést. A környezeti modell alapján a jármű értékeli az adott közlekedési szituációt a megfelelő döntéshozatal és a jármű-irányítási feladat elvégzése érdekében.

Az autonóm járműirányítás a katonai műveletekben hozzájárul az emberi erőforrás megóvásához, javítja a műveleti képességeket és azok hatékonyságát (például megfigyelés, környezetdetektálás, támadási feladatok stb. esetén). Ezzel szemben a polgári felhasználásban a közlekedés biztonságosabbá tételén és a felhasználók mindennapi életének komfortosabbá tételén van a hangsúly. Főként a rövid távú, akár rögzített útvonalon közlekedő (például minibusz-szolgáltatás, ipari szállító járművek stb.) járművek felhasználása terjedt el, megjelennek az önvezető taxik, a csak autópályán használható önvezető funkciók. 2024 nyarától pedig tesztelési célból már megjelenhetnek a SAE J3016-os szabvány szerinti 4-es szintű, önvezetőnek számító járművek Peking utcáin. A közlekedésbiztonsági szempontokat is figyelembe véve, valamint a többi jármű vezetőjének figyelmét felhívandó az önvezető funkciókat használó autókát türkizkék megkülönböztető lámpáikról lehet felismerni.¹

„A SAE J3016 számú nemzetközi szabványa hat szintet határoz meg a polgári felhasználású közlekedési járművek vezetésautomatizáltságára. Az első három szinten (SAE 0-2) a jármű vezetője felügyeli az eseményeket, a második három szinten (SAE 3-5) maga a jármű végzi mind a felügyeleti, mind a jármű vezetési feladatait.”²

A digitális forenzikus vizsgálatok különféle módszereket, eszközöket és technikákat foglalnak magukban, attól függően, hogy milyen célból (például adat- és információszerzés, elemzés-értékelés, műveleti tevékenység támogatása, szakértői vizsgálat stb.) milyen eszközök vagy rendszerek vizsgálatát kell elvégezni. Mind

¹ GÁSPÁR-NÉMETH-BOKOR 2019; SIMON 2024; Autopro.hu/R.K.E. 2024.

² BEREK L. – BEREK T. – RÉPÁS 2023.

polgári, mind katonai vonatkozásban a digitális nyomokhoz való hozzáférés kulcsfontosságú feladat, azok vizsgálatához és elemzéséhez.

Modern járművek az adat- és információszerzési területeken

A járművek folyamatos fejlődésével, automatizáltsági szintjük növekedésével működésük, valamint a segítségükkel történő feladatellátás egyre szélesebb körű adatforrásokat, -feldolgozást és -kezelést igényel. A járművek által különböző informatikai rendszerekből és rendszerelemekből gyűjtött, a járműben vagy a kapcsolódó felhőalapú rendszerekben tárolt és jellemzően vezeték nélküli kommunikációs csatornán továbbított adatok hozzáférhetővé tétele, valamint az adatok feldolgozása és értelmezése új kihívást jelent a szakértők számára, amelyre megoldást jelentenek a különböző információszerzési megoldások.

Az adat- és információszerzés sikerét modern járművekhez kapcsolódóan alapvetően a hozzáférhető és megszerezhető adatok mennyisége befolyásolja. A nagyobb adatmennyiség nem feltétlenül növeli az információ értékét, a vizsgálatok lefolytatását a túl sok információ meg is hiúsíthatja. Megnehezíti a releváns információk feltárását, lassítja az adatfeldolgozást, az elemzést és az értékelést.

A modern járművekhez kapcsolódóan az adat- és információszerzés területei a műveleti vagy vizsgálati cél függvényében relevánsak lehetnek, azonban a képességek hatékony felhasználása érdekében és az időprés miatt a gyakorlatban csak azokat a módszereket alkalmazzák, amelyek a leghatékonyabban biztosítják a szükséges adatok és információk megszerzését. Alkalmazható információszerzési területek:

- emberi erőforrásokkal folytatott információ- és hírszerzés (*Human Intelligence, HUMINT*);
- rádióelektronikai felderítés (*Signals Intelligence, SIGINT*);
- nyílt forrású információszerzés (*Open Source Intelligence, OSINT*);
- képfelderítés (*Imagery Intelligence, IMINT*);
- mérés- és jelmeghatározó hírszerzés (*Measurement and Signature Intelligence, MASINT*);
- technikai hírszerzés (*Technical Intelligence, TECHINT*);
- kiberhírszerzés (*Cyber Intelligence, CYBINT*).

Polgári alkalmazásban, ideális esetben a járművekkel kapcsolatos adat- és információszerzési feladatok a felhatalmazáson alapuló, utólagos szakértői vizsgálatokat

jelentik. A felhatalmazást a megbízási vagy vállalkozási szerződés, továbbá a kirendelő határozat vagy bírósági végzés jelenti, amely tartalmazza az adatigényt, a megválaszolandó szakértői kérdéseket.

A felhatalmazás és jogosultság nélküli, a járművek belső adataihoz való hozzáférés, azok módosítása, a járművek irányításának, működésének befolyásolása szakértői feladatokat indukálhat, ezen tevékenységek a vizsgálati oldalon jelennek meg. A szakértői munka végrehajtásához szükséges lehet személyek mint információforrások igénybevétele. HUMINT esetén az információhoz, dokumentumokhoz való hozzáférés mindig személyeken keresztül történik. Polgári alkalmazásban főként az üzleti hírszerzéshez tartozik.

A járművek szerviz- és műszaki dokumentációinak, tudományos közleményeknek, szabványoknak és egyéb leírásoknak az elérésére nyílt forrású információszerzés (OSINT) is alkalmazható. A mindenki számára elérhető információk, az interneten megtalálható anyagok tartoznak ide. Ezek az információk nehezen feldolgozhatók, tévesek vagy hiányosak lehetnek, hitelességük megkérdőjelezhető, nehezen ellenőrizhető. A járművek digitalizációjának gyors üteme miatt ezen információk naprakészsége sem garantálható.

A járművek digitális szakértői vizsgálataihoz kapcsolódóan az adat- és információigény teljesítésének eszköze a technikai hírszerzés (TECHINT), amely a járművek, a közlekedési rendszer komponenseinek közvetlen vizsgálatát és a hozzáférhető információk feldolgozását jelenti. A SIGINT, az IMINT, a MASINT és a CYBINT megoldást csekély alkalmazási hatékonysága és a magas erőforrás-ráfordítás miatt jellemzően nem használják (5.1. táblázat).

Katonai alkalmazásban az emberi erőforrásokkal folytatott információ- és hírszerzési tevékenységet a nyílt, legális és az ügynöki, fedett hírszerzés jelenti. „A nyílt, legális pozícióból folytatott információ és hírszerzést alapvetően diplomáciai keretek között, valamint a katonai missziók hír- és információs szerző támogatását ellátó hírszerző elemekkel (a katonai hírszerzéshez tartozó NIC – *National Intelligence Cell*, NIST – *National Intelligence Support Team*) folytatott hírszerzés alkotja.”³

Rádióelektronikai felderítés esetén passzív eszközökkel az elektromágneses hullámokat kibocsátó rendszerek felfedése és lehallgatása történik. Járművekhez kapcsolódóan a kommunikációs csatornák felfedésével és hallgatásával érhetők el a digitális adatok (például távirányított vagy autonóm eszközök adatcsatornáinak telemetriai adatai).

³ BÉRES 2014: 122.

5.1. táblázat. Modern járművek vizsgálata esetén alkalmazható információszerzési területek polgári és katonai alkalmazásban

Polgári alkalmazás		Katonai alkalmazás	
<i>HUMINT</i>	X	<i>HUMINT</i>	X
<i>SIGINT</i>		<i>SIGINT</i>	X
<i>OSINT</i>	X	<i>OSINT</i>	X
<i>IMINT</i>		<i>IMINT</i>	X
<i>MASINT</i>		<i>MASINT</i>	X
<i>TECHINT</i>	X	<i>TECHINT</i>	X
<i>CYBINT</i>		<i>CYBINT</i>	X

Forrás: a szerzők szerkesztése

Nyílt forrású információszerzés polgári felhasználáshoz hasonlóan katonai alkalmazásban is használható hasonló feldolgozási nehézségekkel és problémákkal.

A képfelderítés vonatkozásában a térinformatikai felderítéssel összevont műholdas vagy légi felderítés használatával gyűjthető információ a műveleti területen megtalálható modern vagy autonóm járművekről. A műveleti területről, annak objektumairól, a járművekről, eszközökről, készült fényképfelvételek nyújthatnak plusz információt.

Azon alapinformációk megszerzéséhez, amelyek egy jármű hollétére, annak idejére, a jelenlét okaira vonatkoznak, a rádióelektronikai felderítés és a képfelderítés mellett jól alkalmazható a mérés- és jelmeghatározó felderítés (MASINT). Az azonosítás szenzorok segítségével, a kibocsátott jelek alapján történik.

A jármű a benne található nyomok kinyerése, valamint a működésére vonatkozó információk megszerzése érdekében közvetlen vizsgálat alá vonható a technikai hírszerzés (TECHINT) módszerei alkalmazásával. A modern járművekben található digitális adatokhoz történő hozzáférés ugyanis főként a technikai hírszerzés eszközrendszerével – annak járművekhez illeszkedően kialakított módszertanát és technikáit alkalmazva – közvetlenül történik, vezetékes vagy vezeték nélküli csatlakozás, illetve az adathordozóhoz történő közvetlen csatlakozás által.

Annak függvényében, hogy a járműhöz vagy valamely adattárolójához milyen módon és céllal férünk hozzá, megkülönböztethetők az egyes vizsgálati eljárások:

- ép, működőképes lefoglalt, zsákmányolt vagy más úton megszerzett eszköz/adattároló vizsgálata;
- működés vagy üzem közben lefoglalt, zsákmányolt vagy más úton megszerzett eszköz/adattároló vizsgálata;
- működés vagy üzem közben ideiglenesen vizsgálat alá vont eszköz vizsgálata;
- sérült, meghibásodott, megsemmisített eszköz vagy adattárolójának vizsgálata.

A kiberhírszerzés (CYBINT) számítógépes hálózatokban tárolt információk megszerzésére irányul. A modern járművek és a magas automatizáltságot támogató közlekedési rendszerek (*Intelligent Transport Systems, ITS; Cooperative Intelligent Transport Systems, C-ITS*) vizsgálatához tartozik mind a nyílt és zárt számítógépes hálózatokban védett információk megszerzése, mind a hálózatok által kisugárzott jelekből folytatott adatszerzés.⁴

A járművek adatkinyerési módszerei

A magas automatizáltságu, fejlett kommunikációs és adatfeldolgozási képességekkel rendelkező járművek adataihoz történő elemzési és hozzáférési módok két-két csoportba sorolhatók *live*, élő és *post mortem*, vagyis utólagos vizsgálat.

A *live forensics* vizsgálat esetén a jármű azonnali, működés közbeni vizsgálata történik meg. Ilyen vizsgálatra katonai műveletekben, hírszerzési tevékenység során vagy terrorcselekmény elkövetésének nyomozati tevékenysége során lehet szükség. Az ilyen vizsgálatok előnyei közé tartozik az „illékony” adatok (például a jármű memóriájában vagy vezérlőegységeiben ideiglenesen megtalálható adatok) megszerzése, a gyors elemzés és értékelés lehetősége. Az utólagos vizsgálat során a vizsgálandó jármű, eszköz, rendszer kikapcsolt (esetlegesen üzembe helyezhető) állapotban van.

A hozzáférés módja szerint megkülönböztetünk *online* és *offline* hozzáférést. *Online* hozzáférés során a jármű megbontása, szétszerelése nélkül történik az adatgyűjtő vagy vizsgálóeszköz, szoftver csatlakoztatása. *Offline* hozzáférés esetén olyan hardveres megoldások, csatlakozáskialakítás szükséges, amely szükségessé teheti a jármű megbontását, az egyes alkatrészek eltávolítását, az adathordozó

⁴ BÉRES 2014; CLARK 2010.

elemek (például integrált áramkörök, elektronikus vezérlőegységek) közvetlen elérését, a feszültség szintek mérését.

SIGINT, IMINT, MASINT, TECHINT, CYBINT esetén lehetőség van a *live* vizsgálatra, ilyenkor a működő rendszer adatainak *online* megszerzése és gyors elemzés történik. Ez az eljárás lehetőséget biztosít az illékony – például memóriában található – adatok vagy a kommunikációs csatornán átvitt információk megismerésére.

Utólagos vizsgálat esetén az adatokhoz történő hozzáférés történhet *online* és *offline* módon egyaránt, az ép vagy nem működő, sérült, meghibásodott vagy megsemmisített eszközön vagy annak adathordozóján. Ebben az esetben az élő vizsgálat ellentétben az illékony memóriában található adatok visszaállítása már nem lehetséges.

A járművekben hozzáférhető adatok és kihívások

A járművekhez kapcsolódó adatkinyerési módok, hozzáférési megoldások esetén az egyes adatforrásokból eltérő mennyiségű, minőségű és a katonai műveletek vagy a szakértői vizsgálatok szempontjából releváns információ érhető el, nyerhető ki. A járművekre, vezérlőegységekre vonatkozó általános információk lehetnek:

- a jármű gyártója;
- motorszám/kód;
- hengerűrtartalom;
- teljesítmény;
- üzemanyag;
- környezetvédelmi osztály;
- a vezérlőegység neve;
- a vezérlő egyedi azonosító típusa;
- a vezérlő egyedi azonosító száma;
- sorszáma;
- alvázszám;
- évjárat;
- a jármű típusa;
- a jármű felszereltsége.

A csatlakoztatott eszközök adatai, a navigációs adatok, a vezérlők adatai, az eseményadatok körében a járművek gyártónként és típusonként eltérők (5.1. ábra).

Audi_A6

Created: 3/11/2024 10:38:13 AM

Last Modified: 3/11/2024 2:45:27 PM

Vehicle Details

Year: 2013

Make: Audi

Model:

Trim:

VIN: WAUJ

Vehicle Data

Geolocation (50)

Events (282)

Attached Devices (75)

ECUs (1)

5.1. ábra. A vizsgált járműben elérhető navigációs, esemény- és csatlakoztatott eszköz-adatok megjelenítése
Forrás: a szerzők szerkesztése

A navigációs adatok alapján például útvonalelőzmények, mentett helyek, korábbi úti célok, aktív és inaktív útvonalak térképes megjelenítése is lehetséges a kinyert adatok alapján. Ez nagymértékben hozzájárul az adatok értelmezhetőségéhez.

A jármű helyadatai a közterület nevével, idejével, hosszúsági és szélességi adataival rögzíthetők. A jármű továbbá rögzítheti saját navigációjának használatát vagy a csatlakoztatott mobileszköz lokációs információit is (5.2. ábra).

Audi_A6							
Applications			Name	Date/Time	Timestamp Type	Latitude	Longitude
Connections			TÉR		Local	47,6	6 19,1 9
Devices (74)			KÖZ		Local	47,6	9 21,1 0
Events (282)			ILKA		Local	47,6	1 22,1 6
Navigation					Local	46,6	6 20,1 9
Tracklogs			OS UTCA		Local	47,6	0 19,1 3
Locations (50)			JEN UTCA		Local	47,6	3 19,1 2
Routes			I ÚT		Local	47,6	3 19,1 4
Velocity Logs			TÉR		Local	47,6	7 19,1 2
			JNA UTCA		Local	47,6	5 19,1 5
			ITCA		Local	47,6	5 19,1 7
			ARU UTCA		Local	47,6	9 19,1 6

5.2. ábra. A járműben rögzített navigációs adatok
Forrás: a szerzők szerkesztése

Audi_A6								
Applications	Flags	Device Name	Device Type(int)	Device Type	Unique Number	Unique Number Type	Manufacturer	
^ Connections					0i	> Bluetooth Address		
Bluetooth (71)					0i	E Bluetooth Address	MAC-> Apple	
Wifi					0i	I Bluetooth Address	MAC-> Samsung	
USB					0i	1 Bluetooth Address		
^ Devices (74)					0i	7 Bluetooth Address		
^ Events (282)					0i	3 Bluetooth Address		
Call Log (197)					0i	D Bluetooth Address		
Device (85)					1i	1 Bluetooth Address	MAC-> Wingtech	
^ Navigation					1i	3 Bluetooth Address		
Tracklogs					2i	3 Bluetooth Address		
Locations (50)					2i	> Bluetooth Address		
Routes					2i	F Bluetooth Address		
Velocity Logs					2i	5 Bluetooth Address		
					2i	D Bluetooth Address		
					2i	D Bluetooth Address		
					2i	0 Bluetooth Address		

5.3. ábra. A vizsgált jármű Bluetooth-kapcsolatainak listája

Forrás: a szerzők szerkesztése

Kinyerhetők például a csatlakoztatott mobiltelefon azonosítói, annak szinkronizált adatai, a médialejátszó, az USB-meghajtók, az SD-kártyák részleges vagy teljes tartalma, vezeték nélküli hozzáférési pontok azonosító adatai stb. Az 5.3. ábrán látható, hogy a vizsgált jármű lehetséges vezeték nélküli kapcsolatai közül csak Bluetooth-kapcsolattal csatlakoztatott mobil eszközöket használtak. Amennyiben a csatlakoztatott mobil eszköz név- vagy típusadatokat is megoszt magáról, a jármű ezeket is képes tárolni, hasonlóképpen, mint az egyedi azonosítót (például IMEI, IMSI) vagy a gyártó nevét. A jármű rögzíti (5.4. ábra) a csatlakoztatott mobiltelefonról kezdeményezett vagy fogadott hívások idejét másodpercre pontosan, a telefonszámokat, illetve a telefonkönyvben szereplő nevet is (amennyiben mentett telefonszámról van szó).

Járműesemények és balesethez kapcsolódó rögzített adatok: az ajtónyitás/-zárás időbélyegei, a biztonsági öv bekapcsolása, a világítás be-/kikapcsolása, a rendszer újraindítása, a GPS-időszinkron, a sebesség, a kormányoszög, a kilométeróra-állás, a sebességváltás, az erős gyorsítás/lassítás, a vezetői figyelmeztetések stb. (5.5. ábra).

A modern, magas automatizáltságú járművek szakértői vizsgálatának eljárásához kapcsolódó kihívásainak egy része megjelenik az adatok hozzáférhetőségének és értelmezhetőségének kérdéskörében is. Komplex vizsgálatok a járművek központi egységének/fejegységének fejlesztésével, a vezérlőegységek számának és funkcióinak növekedésével, a járművek hálózati komplexitásának növelésével jelentek meg. A navigáció és a mobil eszközökkel kialakított kapcsolat révén olyan

	Start Time	Timestamp Type	Flags	Timestamp Confidence	Phone Number	Contact Name	Call Type
	2019.0 .16 15: :58	Local	In Vehicle	Medium	+3630 7		Unknown Direction
	2019.0 .06 11: :35	Local	In Vehicle	Medium	+3620 1		Unknown Direction
	2019.0 .21 14: :43	Local	In Vehicle	Medium	+3630 0		Unknown Direction
	2019.0 .04 14: :24	Local	In Vehicle	Medium	+3620 9		Unknown Direction
	2019.0 .12 16: :51	Local	In Vehicle	Medium	00	8	Unknown Direction
	2019.1 .11 12: :29	Local	In Vehicle	Medium	06		Unknown Direction
	2020.0 .03 13: :39	Local	In Vehicle	Medium	00	3	Unknown Direction
	2020.0 .27 11: :32	Local	In Vehicle	Medium	+3620 0		Unknown Direction
	2020.0 .21 16: :43	Local	In Vehicle	Medium	+3620 9		Unknown Direction
	2020.0 .27 15: :29	Local	In Vehicle	Medium	+3620 2		Unknown Direction
	2020.1 .13 07: :17	Local	In Vehicle	Medium	+3620 2		Unknown Direction
	2020.1 .24 08: :22	Local	In Vehicle	Medium	+9725 97		Unknown Direction
	2020.1 .10 08: :48	Local	In Vehicle	Medium	+3620 2		Unknown Direction
	2020.1 .16 11: :13	Local	In Vehicle	Medium	00	1	Unknown Direction
	2021.0 .19 14: :55	Local	In Vehicle	Medium	00	1	Unknown Direction
	2021.0 .19 15: :47	Local	In Vehicle	Medium	+3620 2		Unknown Direction

5.4. ábra. A járműben tárolt hívásadatok megjelenítése szakértői vizsgálat során

Forrás: a szerzők szerkesztése

mennyiségű és minőségű információ jelent meg az autókban, amely egyre kiemeltebb jelentőséggel bír a szakértői vizsgálatok elvégzése során. Komplex tudás és azt alkalmazni tudó munkaerő szükséges a vizsgálatok elvégzéséhez, ami gyakorlati ismeretek átadását is jelenti a képzések során. Magas szintű járműtechnológiai tudás mellett olyan szakértői eszközökre és azok ismeretére van szükség, amelyek az általános digitális forenzikus vizsgálatok esetén nem szükségesek, és nem állnak rendelkezésre. A nagy mennyiségű és a jármű különböző egységeiben található adatok kinyerése és azok korrelációja, a központosított időszinkronizáció hiánya, az eseménylánc végigkövetése, vezetése, az adatokból felismerhető mintázatok felismerése mind-mind nagy szakértői tapasztalatot igényel.⁵ A vizsgálatok végrehajtásának időprése, az adatok kinyerése és elemzése mellett a jármű folyamatos adatgyűjtése és a tárolt adatok gyors felülírási ciklusa is nehezíti az eljárást. Az adatok sértetlenségének és hitelességének biztosítása a felügyeleti lánc (*Chain of Custody*) segítségével a műveleti területen nagy kihívást jelent.

A fentiek mellett figyelembe kell venni továbbá azt is, hogy a külső környezeti feltételek műveleti területen ritkán teremtenek ideális körülményeket a vizsgálatok zavarmentes lebonyolításához. A kellemetlen meteorológiai viszonyok gyakran extrém jellemzőket mutathatnak. A jövőben számolni kell azzal, hogy az éghajlatváltozás az időjárás extrémítások gyakoriságának növekedését és intenzitásának

⁵ RÉPÁS–NÉMEDY 2023; ROGERS–PIPER–BATES 2023.

Events (41455)	Runtime	Date/Time	Timestamp Type	Event Identifier	Event Type	Action
Device (8)		2017.03. 12:10:38	UTC	Odometer Value: 17667.5 KM (10978.4 Miles)	Odometer	Read
Door (14307)		2017.03. 12:11:00	UTC	Odometer Value: 17667.5 KM (10978.4 Miles)	Odometer	Read
Ignition (21260)		2017.03. 12:11:13	UTC	Odometer Value: 17667.5 KM (10978.4 Miles)	Odometer	Read
Time (4700)		2017.03. 12:13:55	UTC	Vehicle Ignition Locked	Ignition	Lock
Odometer (1179)		2017.03. 12:13:58	UTC	Front Right Door Open	Door	Open
System Log (1)		2017.03. 12:14:00	UTC	Time update from Instrument Cluster: 2017-03-28 12:11	Time	Update

5.5. ábra. A jármű működési eseményeinek rögzítése

Forrás: a szerzők szerkesztése

erősödését hozza, ami sok más mellett negatívan befolyásolja a vizsgálati eljárásban felhasznált technikai eszközök alkalmazási spektrumát.⁶

A fejlett *anti-forensic* megoldások (amelyek tulajdonképpen ellenintézkedések a vizsgálat lefolytatása ellen, fő céljuk a bizonyítékok megszerzésének megakadályozása)⁷ alkalmazásának járművekben való elterjedése különösen a katonai műveletekben alkalmazott járművek vizsgálatát nehezíti meg, a polgári felhasználású járművek esetén ilyen megoldások megjelenésére még várni kell.

A modern járművek szakértői vizsgálata vizsgálóeszközökhöz kapcsolódó kihívásainak fenti általános nehézségei kapcsán azonban a járművek digitális szakértői vizsgálata messze túlmutat a jelenleg rendelkezésre álló módszertanokon, kompetenciákon, eszközökön.⁸ A szűkös vizsgálati megoldások és a rendelkezésre álló eszközkészlet gyakran lehetetlenné teszi komplex vizsgálatok elvégzését. A kompatibilitási problémák mellett a járművek típusa, évjáratá vagy a vezérlőegységek gyártójának különbözősége miatt is megghiúsulhatnak vizsgálatok, mert az adatokhoz történő hozzáférésre ezek miatt nincs mód. A járműgyártók üzleti érdekeiket védve nem biztosítanak hozzáférést a fejegységek és a vezérlőegységek működéséhez, adattárolási struktúrájához, forráskódjához, ezért sok esetben a kinyert adatok értelmezése válik lehetetlenné.

⁶ PADÁNYI 2022.

⁷ JAIN–CHHABRA 2014; GARFINKEL 2007.

⁸ STANDER–BARNARD 2017.

Összefoglalás

A modern járművek forenzikus vizsgálataihoz, a járművekből történő információkinyeréshez különféle módszerek, eszközök és technikák szükségesek, amelyek alapját a digitális forenzikus vizsgálati eljárások képezik, azonban a járművekhez kapcsolódó vizsgálat, eszközök és eljárások kihívásai ezen túlmutatnak, ezek specifikus kiegészítése és módosítása szükséges. Korábbi publikációinkban ezt már igazoltuk.⁹ Jelen tanulmányban meghatároztuk azon információgyűjtési eljárásokat, amelyek műveleti területen, illetve szakértői vizsgálatok esetén alkalmazhatók, továbbá részleteztük a járművekben elérhető adatok hozzáférési módjait, kihívásait és lehetőségeit.

A járművek szakértői vizsgálati lehetőségeinek elemzése és gyakorlati végrehajtása alapján, a jármű kommunikációs és adattároló megoldásait figyelembe véve megállapítható, hogy a legbősegebb adatforrást a jármű központi egysége/fejegysége, valamint balesetekhez kapcsolódóan az Egységes Digitális Rádiótávközlő Rendszer (EDR) jelenti. *Online és offline* hozzáférés esetén vezetékes és vezeték nélküli módon is van lehetőség a jármű adataihoz történő hozzáférésre, adatainak kinyerésére, azok élő vagy utólagos elemzésére.

Felhasznált irodalom

- Autopro.hu/R.K.E. (2024): A Mercedes élre tör az önvezető autók piacán. *Autopro.hu*, 2024. február 7. Online: <https://autopro.hu/gyartok/a-mercedes-elre-tor-az-onvezeto-autok-piacan/1047211>
- BEREK Lajos – BEREK Tamás – RÉPÁS József (2023): A komplex vagyonvédelem értelmezése a modern közlekedési és az autonóm harctéri járművek vonatkozásában. In GÖCZE István – PADÁNYI József (szerk.): *Húsz év a katonai műszaki tudományok szolgálatában. A katonai műszaki tudományok tudományág időszzerű kérdései, aktuális tudományos kutatási eredményei. Oktatói kötet*. Budapest: Ludovika, 11–28.
- BEREK Tamás – RÉPÁS József (2024): Az autonóm harctéri és közlekedési járművek forenzikus vizsgálatának lehetőségei és kihívásai. In GÖCZE István – PADÁNYI József (szerk.): *Szemelvények a katonai műszaki tudományok eredményeiből IV. Hallgatói kötet*. Budapest: Ludovika, 7–20.
- BÉRES János (2014): A hírszerzés feladatrendszere. In DOBÁK Imre (szerk.): *A nemzetbiztonság általános elmélete*. Budapest: Nemzeti Közszerológiai Egyetem, 117–128.
- CLARK, Robert M. (2010): *Intelligence Analysis: A Target-Centric Approach*. Washington, DC: CQ Press.
- GÁSPÁR Péter – NÉMETH Balázs – BOKOR József (2019): *Járműűrnyitás*. Budapest: Akadémiai. Online: <https://doi.org/10.1556/9789634543282>

⁹ BEREK T. – RÉPÁS 2024.

- JAIN, Anu – CHHABRA, Guralp Singh (2014): Anti-Forensics Techniques: An Analytical Review. In *Seventh International Conference on Contemporary Computing (IC3)*. Noida: IEEE, 412–418. Online: <https://doi.org/10.1109/IC3.2014.6897209>
- PADÁNYI József (2022): *Kihívások, kockázatok, válaszok. Az éghajlatváltozás okozta kihívások és azok hatása a katonai erőre*. Budapest: Ludovika.
- RÉPÁS, József (2023): Definition of Forensic Methodologies for Autonomous Vehicles. *Hadmérnök*, 18(1), 125–141. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2023.1.9>
- RÉPÁS József – NÉMEDY László (2023): Modern járművek kiberbiztonsága, biztonsági követelményei a szakértői vizsgálatok céljával és lehetőségeivel összefüggésben. In BORZA Veronika et al. (szerk.): *Régi és új kihívások az igazságügyi szakértői munkában*. Budapest: Nemzetbiztonsági Szakszolgálat, 87–129.
- ROGERS, Marcus – PIPER, Megan – BATES, Sienna (2023): A Brief History of Digital Forensics and Digital Evidence. In HOUCK, Max M. (szerk.): *Encyclopedia of Forensic Sciences I*. Amsterdam: Elsevier, 9–18. Online: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-823677-2.00029-5>
- SIMON Zsolt (2024): Öncezető autókat tesztelhet Peking utcáin a Mercedes-Benz. *Villanyautósok*, 2024. augusztus 8. Online: <https://villanyautosok.hu/2024/08/08/onvezeto-autokat-tesztelhet-peking-utcain-a-mercedes-benz/>
- SIMSON, Garfinkel (2007): Anti-forensics: Techniques, Detection and Countermeasures. In ARMISTEAD, Leigh (szerk.): *ICIW 2007. 2nd International Conference on i-Warfare and Security*. Reading: Academic Conferences Limited, 77–84. Online: <https://simson.net/ref/2007/iciw07-cd.pdf>
- STANDER, Adrie – BARNARD, Hanlé (2017): *Digital Forensics and Electronic Evidence*. Online: www.udemy.com/course/digital-forensics-and-electronic-evidence/
- TOKODY Dániel et al. (2018): Kiberbiztonság az autóiparban. *Bánki Közlemények*, 1(3), 71–77. Online: <http://bk.bgk.uni-obuda.hu/index.php/BK/article/view/79>

Berek Lajos – Répás József – Schmidt Miklós

A célzott adatkinyerés szerepe a katonai és civil felhasználású közúti közlekedési járművek szakértői vizsgálatában

Az informatikai szakértői vizsgálatok technikái, taktikái és eljárásai az elmúlt években aktívan kutatott területté váltak, köszönhetően a közlekedési járművekhez kapcsolódó hálózati és informatikai rendszerek folyamatos fejlesztésének és az új technológiák megjelenésének. A korszerű hálózati és informatikai rendszerek által kezelt és feldolgozott hatalmas adatmennyiség (úgynevezett big data) jó alapot biztosít az igazságügyi szakértői vizsgálatok elvégzéséhez, azonban az egyik fő nehézséget is ez az adatmennyiség jelenti. Tanulmányunk célja informatikai, jogi és igazságügyi szakértői szempontból megvizsgálni a célzott adatkinyerés szerepét a katonai és a civil felhasználású informatikai rendszerekben. Ehhez figyelembe kell venni a korszerűsített kiberbiztonságra vonatkozó jogi kereteket, amelyek célja az Európai Unióban és hazánkban is, hogy lépést tartson a digitalizáció fejlődésével és a változó kiberbiztonsági fenyegetésekkel.

Kulcsszavak: forensicsvizsgálat, önvezető járművek, szakértői vizsgálat, jog

THE ROLE OF TARGETED DATA ACQUISITION IN THE DIGITAL FORENSICS EXAMINATION OF ROAD TRANSPORT VEHICLES FOR MILITARY AND CIVILIAN USAGE

The techniques, tactics, and procedures of IT expert investigations have become actively researched in recent years, thanks to the continuous development of network and IT systems related to transport vehicles and the emergence of new technologies. The huge amount of data (so-called big data) managed and processed by modern networks and IT systems provides a good basis for conducting forensic examinations. Still, this amount of data is also one of the main difficulties. Our study aims to examine the role of targeted data acquisition in military and civilian IT systems from IT, legal, and digital forensic perspectives. To this end, it is necessary to consider the modernized legal framework for cybersecurity, which aims to keep pace with the development of digitalization and evolving cybersecurity threats, both in the European Union and Hungary.

Keywords: forensics, autonomous vehicles, vehicle examination, law

Bevezetés

Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2022/2555 irányelve az unió egész területén egységesen magas szintű kiberbiztonságot biztosító intézkedésekről, valamint a 910/2014/EU rendelet és az (EU) 2018/1972 irányelv módosításáról és az (EU) 2016/1148 irányelv hatályon kívül helyezéséről, vagyis a NIS2 irányelv hatálybalépésével az Európai Unió célja az egységesen magas szintű kiberbiztonság megteremtése a különböző kritikus ágazatokba tartozó szervezetekre vonatkozó követelmények meghatározásával. Valamennyi tagállam nemzeti jogával összhangban meg kell hogy határozza azon követelményeket, amelyek az érintett szervezetekre vonatkoznak. Az állami és önkormányzati szervek elektronikus információbiztonságáról szóló 2013. évi L. törvény, valamint a NIS2 irányelv hazai implementációjának eredményeképpen elkészült 7/2024. (VI. 24.) MK rendelet a biztonsági osztályba sorolás követelményeiről, valamint az egyes biztonsági osztályok esetében alkalmazandó konkrét védelmi intézkedésekről azon követelményeket tartalmazza, amelyek a kiemelten kockázatos és kockázatos ágazatokban működő szolgáltatók és szervezetek által alkalmazandók. A közlekedésnek mint kiemelten kockázatos ágazatnak, valamint a kockázatosnak minősített gyártási, azon belül a jelen tanulmány szempontjából releváns gépjárműgyártási tevékenységet végző érintetteknek a kiberbiztonsági szint növelése érdekében meg kell felelniük a jogszabályi elvárásoknak.¹

A közlekedési rendszerek és a rendszerek szereplői által gyűjtött, tárolt, feldolgozott adatok, továbbá az adatokat tároló rendszerek védelmét és felügyeletét oly módon kell megvalósítani, hogy az esetleges utólagos szakértői vizsgálat során megfelelő, hozzáférhető, elemezhető digitális adat mint nyom álljon rendelkezésre.

A szakértői bizonyítás jelentősége folyamatosan növekszik, figyelembe véve az új technológiákat. A közlekedési rendszerek, az automatizált közúti közlekedési járművek szakértői vizsgálata különleges szakértelmet igényel, egyre bonyolultabbá válik, függetlenül attól, hogy a peres és hatósági eljárások tárgyi és szerkezeti összetétele milyen változáson ment keresztül az elmúlt években. A jogi kérdések más szakmákkal, tématerületekkel való összefonódása általánosabb, ami ezek megítélését is nehezíti. A bírósági eljárások során növekvő igény mutatkozik a modern természettudományos ismeretek és eredmények felhasználására a bizonyítási eljárásokban.

¹ Európai Parlament és a Tanács (EU) 2022/2555; 2016. évi XXIX. tv.

A járművek adatkinyerési módszerei

Az igazságügyi szakértői tevékenységet végző, jellemzően informatikai végzettséggel rendelkező szakemberek a feladatellátás során a jogszabályokon kívül szakértői módszertani levelekben meghatározott eljárásokat is követnek. A módszertani levelek kialakításának célja a szakértői tevékenység egységes és magas szintű ellátásának biztosítása. A modern járművek szakértői vizsgálatához azonban ez idáig nem készült ilyen módszertani levél, a szerzők célja ezen dokumentum jogi, műszaki ismereteken és gyakorlati tapasztalatokon alapuló előkészítése.

A magas automatizáltságú, fejlett kommunikációs és adatfeldolgozási képességekkel rendelkező járművek adataihoz történő elemzési és hozzáférési módok két-két csoportba sorolhatók: *live*, azaz élő és *post mortem*, vagyis utólagos vizsgálat.

A *live forensics* vizsgálat esetén a jármű azonnali, működés közbeni vizsgálata közvetlenül történik meg. Ilyen vizsgálatra katonai műveletekben, hírszerzési tevékenység során vagy terrorcselekmény elkövetésének nyomozati tevékenységekor lehet szükség. Az ilyen vizsgálatok előnyei közé tartozik az illékony adatok (például a jármű memóriájában vagy vezérlőegységeiben ideiglenesen megtalálható adatok) megszerzése, a gyors elemzés és értékelés lehetősége. Utólagos vizsgálat során a vizsgálandó jármű, eszköz, rendszer kikapcsolt (esetlegesen üzembe helyezhető) állapotban van.

A hozzáférés módja szerint megkülönböztetünk *online* és *offline* hozzáférést. *Online* hozzáférés során a jármű megbontása, szétszerelése nélkül történik az adatgyűjtő vagy vizsgálóeszköz, szoftver csatlakoztatása. *Offline* hozzáférés esetén olyan hardveres megoldások, csatlakozáskialakítás szükséges, amely szükségessé teheti a jármű megbontását, az egyes alkatrészek eltávolítását, az adathordozó elemek (például integrált áramkörök, elektronikus vezérlőegységek) közvetlen elérését, a feszültség szintek mérését.²

A rádióelektronikai felderítés (*Signals Intelligence, SIGINT*), a képfelderítés (*Imagery Intelligence, IMINT*), a mérés- és jelmeghatározó hírszerzés (*Measurement and Signature Intelligence, MASINT*), a technikai hírszerzés (*Technical Intelligence, TECHINT*) és a kiberhírszerzés (*Cyber Intelligence, CYBINT*) esetén lehetőség van a *live* vizsgálatra, vagyis a működő rendszer adatainak (*online*) megszerzése és gyors elemzés a történik. Ez az eljárás lehetőséget biztosít az

² STANDER–BARNARD 2017.



6.1. ábra. USB-csatlakozási lehetőség a jármű középkonzoljaiban

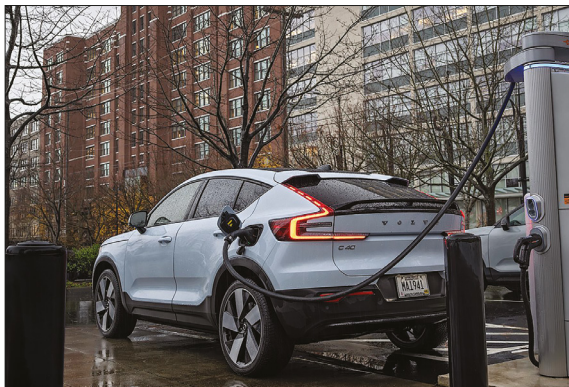
Forrás: https://farm2.staticflickr.com/1949/43242707710_b361b78eaf_z.jpg

illékony, például memóriában található adatok vagy a kommunikációs csatornán átvitt információk megismerésére.

Utólagos vizsgálat esetén az adatokhoz történő hozzáférés történhet *online* és *offline* módon egyaránt, az ép vagy nem működő, sérült, meghibásodott vagy megsemmisített eszközön vagy annak adathordozóján. Ebben az esetben az élő vizsgálattal ellentétben az illékony memóriában található adatok visszaállítása már nem lehetséges.

A járművekhez történő csatlakozás vezetékes vagy vezeték nélküli módon történhet. A vizsgálóeszközt közvetlenül csatlakoztatva a járműhöz pont-pont összeköttetésről beszélünk. Például az eseményadat-rögzítő (*Event Data Recorder, EDR*) adatainak kiolvasása során a diagnosztikai porton keresztül. Hálózati csatlakozás esetén több eszközt/vizsgálati tárgyat vagy járművet a vizsgáló hálózathoz csatlakoztatnak, amelynek része a vizsgálóeszköz is.

Vezetékes csatlakozás esetén a járművekben kialakított szabványos csatlakozókon (például OBD-II, USB) keresztül, közvetlenül történik a csatlakozás. A csatlakozók elhelyezése és a jármű belső hálózatához való hozzáférési lehetőség járműgyártónként, -típusonként és -évjáratonként is eltérő lehet. Elhelyezésük a középkonzolban, a kesztyűtartóban, a könyöklőben stb. gyakori. Ezek a csatlakozók lehetővé teszik mind a *live*, mind az utólagos vizsgálatok elvégzését – a jármű műszaki állapotának, működőképességének, illetve a belső hálózat szegmen-tációjának függvényében. Egyes csatlakozók csatlakoznak a fejegységhez, így



6.2. ábra. Jármű töltése és EVSE csatlakoztatása

Forrás: Volvo Car USA [é. n.]

egyes adatokat kinyerhetővé tesznek, más csatlakozók csak eszközeink töltését biztosítják, így adatkinyerésre alkalmatlanok.³

Az elektromos vagy *plug-in* hibrid járművek elterjedésével, a töltőállomások számának növekedésével az elektromos járművek töltőcsatlakozóján (*Electric Vehicle Supply Equipment, EVSE*) keresztüli hozzáférés új fenyegetésként jelent meg (6.2. ábra). Akár a töltőállomás és hálózata irányába, akár a jármű irányába hozzáférési lehetőséget biztosít a támadók számára. Amennyiben a jármű belső hálózata nem kellően védett, a fizikai hozzáférési ponton keresztül a jármű belső hálózata is elérhetővé válhat. Szakértői vizsgálat során az ilyen hozzáférések megvalósításáról, például a jármű töltésvezérlőjéből is nyerhető ki információ. A jármű megbontása nélkül, *online* módon vagy a töltést vezérlő ECU-hoz való *offline* hozzáféréssel nyerhetők ki információk.

A fejegység fontos szerepet játszik az információk feldolgozásában, tárolásában és a jármű vezérlésében. Az elektronikus vezérlőegységek (*Engine Control Module, ECU*) alkalmasak vagy alkalmassá tehetők utólagos szakértői vizsgálatokra, azaz adattartalmuk hozzáférhető, kinyerhető, értelmezhető és elemezhető lehet. Az adattárolók típusa és a tárolási megoldás határozza meg az adathozzáférés időtartamát.⁴

³ RÉPÁS 2023.

⁴ BEREK–RÉPÁS 2024.



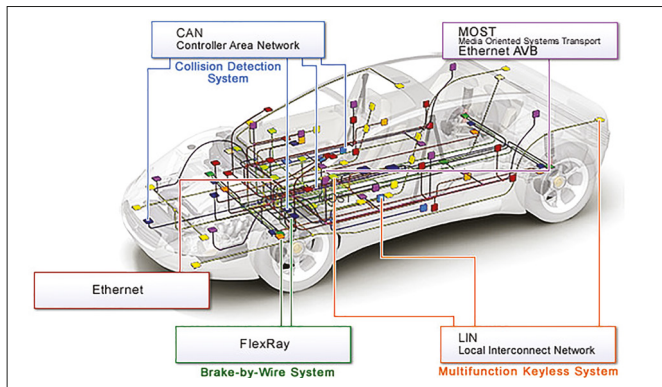
6.3. ábra. Egy jármű multimédia-egysége USB- és SIM-csatlakozási lehetőséggel

Forrás: a szerzők felvétele

A jármű fejegységéhez történő szakértői csatlakozás egyik módja a gyári-memóriakártya-foglalatba helyezett, preparált memóriakártyával történhet. Ebben az esetben az adatokat a jármű másolja ki a memóriakártyára. Az ilyen lehetőség elég korlátozott, a kinyerhető adatok mennyisége tekintetében is, illetve kevés járműgyártó alkalmazza ezt az adattárolási megoldást.

A jármű belső hálózataihoz (például *Local Interconnect Network, LIN*; *Controller Area Network, CAN*; *FlexRay*; *Automotive Ethernet*; *Media Oriented Systems Transport, MOST* stb.) történő csatlakozás lehetőséget biztosíthat *live* és utólagos vizsgálatra is.

A járműgyártásban a kommunikációra vonatkozó fejlesztések iránti igény már nagyon korán megjelent. Az egyik első kommunikációs megoldást, a CAN (*Controller Area Network*) protokollt a Robert Bosch GmbH fejlesztette ki 1983-ban, általános elterjedéséig a 2000-es évek elejéig kellett várni. A CAN üzenetalapú, soros kommunikációs protokoll, amely viszonylag nagy átviteli sebességgel és hibatűrő képességgel rendelkezik, és képes több csomópontot is támogatni. Az autóipar fejlődésével a növekvő sávszélességi igények miatt a CAN protokoll továbbfejlesztése vált szükségessé. A Bosch 2011-ben az autógyártókkal és a szakértőkkel szoros együttműködésben megkezdte a CAN FD (*Flexible Data Rate*, rugalmas adatátviteli sebesség) protokoll kifejlesztését, amely áthidalja a CAN korlátait. Lehetőséget teremt 1 Mbit/s-nál gyorsabb adattovábbításra és a *payload* méretének akár 64 bájt hosszúságúra való kiterjesztésére.



6.4. ábra. Jármű-kommunikációs megoldások

Forrás: www.renesas.com

A LIN-busz kialakítását a járművek belső hálózatainak költségcsökkentési és a kis teljesítményű, szabványosított busz, továbbá a multiplexelt kommunikációs igény eredményezte. Bár a CAN-busz megfelel a nagy sávzélességű, fejlett hálózatok iránti igénynek, a CAN megvalósításának hardver- és szoftverköltiségei túlságosan magasak az alacsonyabb teljesítményű eszközök, például a motoros ablak- és ülésvezérlők számára. A LIN költséghatékony kommunikációt biztosít olyan esetekben, ahol nincs szükség a CAN sávzélességére és sokoldalúságára.

Ahhoz, hogy a járművekben növelhető legyen a biztonság és a teljesítmény, csökkenthető a környezeti terhelés és fokozható a kényelem, az elektronikus vezérlőegységek (ECU) közötti kommunikáció sebességének, az adatátvitel mennyiségének és megbízhatóságának növekednie kell. A fejlett vezérlő- és biztonsági rendszerek – amelyek egyre több érzékelőt, aktuátort és elektronikus vezérlőegységet egyesítenek – megkövetelik a pontos szinkronizációt és a magas teljesítményt. Ez az igény már meghaladja a CAN által biztosított lehetőségeket. A *FlexRay* kommunikációs busz determinisztikus, hibatűrő és nagy sebességű buszrendszer, amelyet az autógyártókkal és a vezető beszállítókkal közösen fejlesztettek ki. A *FlexRay* biztosítja az *x-by-wire* alkalmazások (például *drive-by-wire*, *steer-by-wire*, *brake-by-wire* stb.) hibatűrési és idődeterminációs teljesítménykövetelményeit.⁵

⁵ FlexRay [é. n.].

6.1. táblázat. A vezetékes csatlakozások tulajdonságai

Csatlakozás	Vizsgálat		Hozzáférés	
Vezetékes	Élő/Live	Utólagos/Post Mortem	Online	Offline
Diagnosztikai port	X	X	X	
USB	X	X	X	
EVSE*	X	X	X	X
Memóriakártya-foglalat	X	X	X	
Belső hálózatok	X	X		X
Elektronikus vezérlő-egységek (ECU)		X	X	X
Infotainment/fejeegység		X	X	X
EDR				

* Electric Vehicle Supply Equipment; elektromos járművek töltő csatlakozója.

Forrás: a szerzők szerkesztése

A MOST-technológia a nagy sávszélességű autós multimédia-hálózatok *de facto* szabványa. Az eszközök optikai vagy rézkábeleken keresztül, közvetlenül egymáshoz vagy hálózatba kapcsolhatók. Szinkronhálózatként kiváló szolgáltatásminőséget (*QoS*) és zökkenőmentes csatlakozást biztosít az *audio/video streaming*hez.

Az autóiipari hálózatokban egyre több informatikai jellegű erőforrást kapcsoltak össze, így az informatikában elterjedt Ethernet hálózat járművekben való megjelenése és térnyerése elkerülhetetlen volt. 2016-ban az IEEE közzétette az első Automotive Ethernet szabványt, az IEEE 802.3bw-t, vagyis a 100Base-T1-et. A kommunikáció árnyékolatlan, csavart páros vezetékeken történik az elektromágneses interferencia és áthallás (*cross-talk*) -védelem érdekében. Az Automotive Ethernet technológiája egy vezetékpárt használ, amelyen az átvitt jelek megegyeznek, de a rájuk eső feszültség ellentétes előjelű. Az IEEE 802.3bw szabvány 100 Mbit/s sebességgel számos autóiipari alkalmazást, megoldást képes támogatni. A nagy felbontású videóinformációk és a különböző szenzorokból származó adatok átviteléhez azonban ennél is nagyobb sebességre



6.5. ábra. Egy jármű multimédiás fejegysége, az egyik leggazdagabb adatforrást biztosító elem a szakértői vizsgálatokhoz

Forrás: BROWN 2024

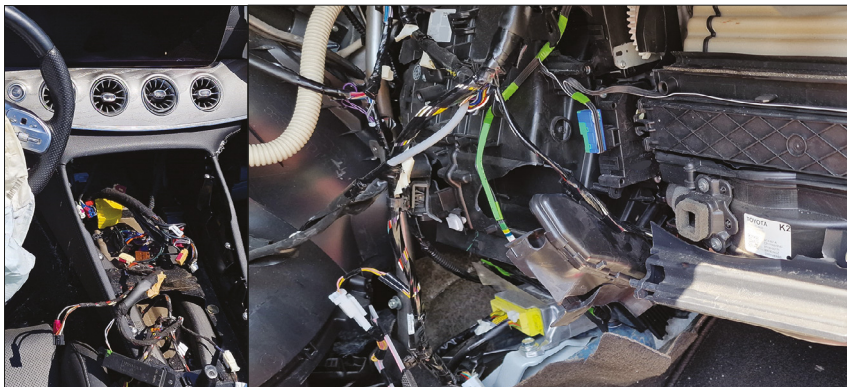
lesz szükség. A 802.3bp vagyis a 1000Base-T1 szabvány szerinti kommunikáció a járművekben is gigabites átviteli sebességet tesz lehetővé, árnyékolt vagy árnyékoltatlan sodrott érpárú vezetékeken. 2020-ban az IEEE létrehozta a 802.3ch szabványt, amely több gigabites (2,5 Gbit, 5 Gbit és 10 Gbit) átviteli sebességet biztosít. 2023-ban adták ki az IEEE 802.3cy szabványt, amely által 25 Gbit/s-os sebesség is elérhetővé válik, amely a telematikai rendszer és a központi egységek információellátását, az egyes zónák ECU-jait és az érzékelők információinak átvitelét képes biztosítani.⁶

Ezen hálózatok korlátozás nélküli, közvetlen elérése *offline* módon lehetséges, a jármű részleges megbontásával jár és az adathálózatra közvetlenül történik a csatlakozás. Logikai analízátorral, oszcilloszkóppal figyelhető meg a forgalom, amelynek rögzítésével lehetőség nyílik az egyes adatkeretek részletes elemzésére is.

Az *infotainmentrendszer* mint ember-jármű interfész segíti a járművezetőt a különböző vezetési és multimédiás funkciók vezérlésében. Lehetővé teszi például – akár hangvezérléssel is – a multimédiás tartalom lejátszását, biztosítja a navigációt, az okoseszköz-integrációt, a jármű működési és biztonsági beállításait, az üléspozíció módosítását vagy a kameraképek megjelenítését.⁷ Szakértői vizsgálati

⁶ IEEE 2023.

⁷ BROWN 2024.



6.6. ábra. Az EDR-egység elhelyezkedése a jármű középkonzoljában

Forrás: a szerzők felvétele

szempontból az egyik leggazdagabb adatkészletet biztosító vezérlőegységről beszélünk. Nemcsak specifikus vezérlések adatait tartalmazza, hanem a jármű működésére általánosan befolyást gyakorló elemről beszélünk.

A járművek fedélzeti diagnosztikai rendszercsatlakozóján (OBDII) keresztül vagy közvetlenül a baleseti adatok biztonságos tárolását végző ECU-hoz (például légszákvezérlő) csatlakozva lehetőség van olyan, a balesetet megelőző, a jármű működéséhez kapcsolódó információk kiolvasására, mint a jármű sebessége, a motor fordulatszáma, a fék státusza, az ütközéshez kapcsolódó sebességváltozás (delta-V) stb.⁸

Balesetekhez kapcsolódó vizsgálatokban a járművek jellemzően működés-képtelenek, nem helyezhetők feszültség alá, ezért az EDR-hez *offline* módon kell hozzáférni. Attól függően, hogy mely gyártóhoz tartozik a jármű, a vezérlő a középkonzolban, a vezető vagy az utas lábterében, a kesztyűtartó mögött stb. található meg. A jármű állapotától függően a fizikai hozzáférés is jelenthet problémát.

Az új szoftverfrissítéseket, *firmware*-eket vagy egyéb adatokat (például titkosítási kulcsok) a gyártók vezetékek nélkül továbbítják. Korábban a mobilszolgáltatók a mobil eszközök vagy a SIM-kártyán lévő adatok frissítéséhez küldtek vezetékek nélkül információkat. Az IoT- (Internet of Things) eszközök elterjedésének hatására már a modern járművekben is használják ezt a frissítési megoldást. Erre

⁸ Bosch 2024.



6.7. ábra. Járműfrissítések over-the-air

Forrás: [bosch-mobility.com](https://www.bosch-mobility.com)

korábban a felhasználóknak memóriakártya vagy CD-lemez behelyezésével volt lehetőségük (például a térkép frissítése), vagy a szervízben végezték a frissítések telepítését. A frissítések vezeték nélküli (például mobilhálózaton keresztüli) továbbítása, a járműhöz való eljuttatása hatékony és költségkímélő módja a hibák javításának, a szoftverfrissítések elvégzésének és az új funkciókhoz való hozzáférésnek. A járművekhez tartozó vezeték nélküli adattovábbítási módok lehetnek:

- *firmware over-the-air* (FOTA);
- *software over-the-air* (SOTA);
- *over-the-air provisioning* (OTAP);
- *over-the-air service provisioning* (OTASP);
- *over-the-air parameter administration* (OTAPA).

FOTA esetén a járműhöz, a jármű egyes egységeihez tartozó *firmware*-t küldenek ki. SOTA esetén szoftverfrissítés, OTAP segítségével beállítások, konfigurációk, OTASP esetén szolgáltatásnyújtás, beállítás, míg OTAPA révén paraméterezés, konfigurálás történik. A frissítések abban az esetben érkeznek meg az autóhoz, ha az kapcsolódik az internethez, amíg letölti azokat.⁹ Ezen kommunikációk vizsgálata és elemzése az élő adatforgalom lehallgatása által vagy rögzítése esetén utólagosan történhet.

⁹ Thales [é. n.]; MIXON–STEELE 2022.

6.2. táblázat. Vezeték nélküli csatlakozások

Csatlakozás	Vizsgálat		Hozzáférés	
Vezeték Nélküli	Élő/Live	Utólagos/Post Mortem	Online	Offline
<i>OTA – over-the-air</i>	X	X	X	
<i>Bluetooth – Bluetooth low energy</i>	X	X	X	
<i>WIFI</i>	X	X	X	
<i>RFID</i>	X	X	X	
<i>DSRC</i>	X	X	X	
<i>V2X</i>	X	X	X	X
<i>TPMS</i>	X	X	X	X
<i>NFC</i>	X	X	X	

Forrás: a szerzők szerkesztése

Egyes járművekben alkalmazott vezeték nélküli kommunikációs csatornák szakértői vizsgálatához a hálózati forgalom lehallgatása, rögzítése szükséges. A jellemzően titkosított csatornákon átvitt információk megszerzése főként *online* módon történik. A szükséges eszköz-, idő-, képesség-erőforrásigényekhez képest a megszerzett információ még katonai műveletek szempontjából sem minden esetben térül meg, ezért a fent részletezett, fizikai hozzáféréssel, *online* vagy *offline* módon végrehajtott vizsgálatok célravezetőbbek.

A Bluetooth-, a WIFI- és a rádiófrekvenciás azonosítási (*Radio Frequency Identification, RFID*) kapcsolatok vizsgálata során jellemzően eszközazonosítók, dátum- és időbejegyzések, valamint a forgalmazott – egyéb vizsgálatokhoz képest kis mennyiségű – adat áll rendelkezésre. A *Near Field Communication* (NFC) az RFID részhalmaza, kétirányú kommunikációt lehetővé tevő, rövid hatótávolságú (5–10 cm) kommunikációs technológia, maximális 424 kb/s adatsebesség mellett. Három működési módban alkalmazható: passzív; aktív eszköz a passzív NFC *tag*ek olvasására és írására; valamint a *peer to peer* kommunikáció, amely esetben mindkét eszköz aktív módban működik.¹⁰ Például a járművek nyitásához, indításához, az

¹⁰ STEFFEN et al. 2018.

indításgátló feloldásához használható megoldás kis adatmennyiséggel dolgozik, a szakértői vizsgálatok szempontjából ezen adatok vizsgálata azok hitelességi kérdéséhez kapcsolódhat.

Az intelligens közlekedési rendszerekben a résztvevők közötti gyors és hatékony kommunikáció érdekében kétféle megoldás született (6.8. ábra). A *Dedicated Short-Range Communication* (DSRC) technológiát a megbízható és hatékony kommunikáció érdekében alakították ki, a közlekedési rendszerekben történő alkalmazáshoz. Például elektronikus út- és parkolódíj-beszedés, a korlátozott területekre történő behajtás ellenőrzése, a járművek vészjelző rendszeréhez való hozzáférés, a megkülönböztetett jelzést használó járművek elsőbbségének jelzésére, közúti akadályokra és vasúti átjáróra figyelmeztetés stb. érdekében. Nagy megbízhatóság, gyors adatkapcsolat és alacsony késleltetési idő jellemzi az 5,8 GHz-es frekvenciasávban működő megoldást.¹¹

„V2X – jármű- és minden lehetséges dolog közötti együttműködés, kommunikáció lehetővé teszi, hogy összekapcsolja az összes járműtípust és a különféle infrastrukturális rendszereket. Ez a kapcsolat magában foglalja az autókat, az autópályákat, a hajókat, a vonatokat, a repülőgépeket, valamint a gyalogosokat stb. is, ezáltal megvalósítva a teljes körű kooperativitást a közlekedésben.”¹² A V2X kommunikáció lehetővé teszi a járművek kommunikációját a közlekedés szereplőivel és a közlekedés megvalósulásához szükséges infrastruktúrával egyaránt, optimalizált és biztonságosabb közlekedést eredményezve. A jármű kommunikációs rendszerei által hozzáférhetővé vált információk a vezetőt a vezetés során folyamatosan segítik. A jármű-kommunikációs megoldás egyik fő célkitűzése a balesetek, a közúti halálesetek visszaszorításának elősegítése, amelyhez nem feltétlenül követelmény az információk nagy távolságokra való eljuttatása. A közvetlen, viszonylag kis hatótávolságú, elosztott kommunikáció segítségével hatékonyan megvalósíthatóvá válnak egyes biztonsági alkalmazások. Alkalmazásával megoldható a járműkonvojok vezérlése, ahol a szenzorok segítségével menetoszlopban, egymáshoz nagyon közel tudnak haladni a járművek. A V2X technológia alapköve lehet az autonóm járművek forgalomban való biztonságos közlekedésének. Kiemelt jelentősége van ennek a közlekedés szempontjából nem ideális meteorológiai viszonyok között, amelyek az éghajlatváltozás folytán gyakorta hirtelen következnek be.

¹¹ ITC Standards [é. n.].

¹² TOKODY et al. 2018.



6.8. ábra. DSRC és V2X kapcsolat a járműrendszerekben

Forrás: SHEENA 2024

Egyre fontosabb ugyanis a szélsőséges időjárási eseményekhez való alkalmazkodás. Ehhez a kihíváshoz egyre több jogi és technikai szabályozást és megoldást kell kidolgozni, mérsékelve a negatív hatásokat, növelve az ellenálló képességet.¹³ Ennek okán is várható a rendszer rohamos fejlődése és elterjedése.

Szakértői vizsgálati szempontból a DSRC és a V2X kommunikáció esetén problémát jelent a járművek sebességéből adódóan a gyors topológia és a résztvevők változása, a járművek egyes esetekben nagyon rövid ideig vannak egymás „hatótávolságában”, például szembejövő jármű esetén. Ezáltal a rögzített kommunikációban véletlenszerűen megjelenhetnek a vizsgálat szempontjából nem releváns elemek, amelyek kiszűrése ráfordításigényes. Az egy időben nagy számban kommunikáló eszköz és jármű jelenléte szintén megnehezíti a releváns adatok megszerzését.

A keréknyomás ellenőrzését végző *Tire Pressure Monitoring Systems* (TPMS) -szenzor jeleinek élő nyomon követése, rögzítése a szakértői vizsgálatok szempontjából és a katonai műveletek vonatkozásában nem releváns. Utóbbi esetben azonban a jármű működésének kompromittálásával, téves információk adatforgalomba illesztésével, a TPMS-szenzor azonosítója általi nyomon követéssel vagy az ECU meghibásodásának elérésével befolyásolható a jármű működése. Szakértői vizsgálatok esetén az ilyen beavatkozások nyomainak felderítése lehet az egyik cél.

¹³ BEREK–FÖLDI–PADÁNYI 2020.

A szakértői vizsgálatokhoz szükséges elektronikus nyomokhoz történő hozzáférés a fenti vezetékes vagy vezeték nélküli csatornákon lehetséges. Ezen nyomok járműveken belüli, illetve a kapcsolódó rendszerekben történő fellelése, a releváns bizonyítékok feltárása és vizsgálata által lehetőség nyílik nyilvánvalóvá tenni, hogy mi történt, megállapítani a vizsgált esemény körülményeit, akár meg nem ismételhető esetekben is.

Összefoglalás

A modern járművek utólagos szakértői vizsgálatai során nélkülözhetetlen a jármű mint vizsgálati tárgy, illetve adattároló egységeinek és tárolt adatainak elérése. Az információk kinyeréséhez különféle módszerek, eszközök és technikák szükségesek, amelyek alkalmazhatók katonai műveletekben, továbbá az általános szakértői vizsgálatok elvégzése során is. Jelen tanulmányban meghatároztuk a járművekhez vagy azok adathordozójához történő csatlakozási lehetőségeket, valamint a különböző vizsgálati és hozzáférési módokat. A vizsgálati tárgytól és a szakértő által megválaszolandó kérdésektől függően *online* és *offline* hozzáférés, illetve élő vagy utólagos vizsgálatok válhatnak szükségessé. A NIS2 irányelvnek és az annak hazai implementációja során készített jogszabályoknak való megfelelés érdekében szükséges a járművek egyes kommunikációs csatornáinak védelmét, illetve védelmi megoldásait felülvizsgálni, ami egyrészt biztosítja a járművezetők adatainak védelmét, másrészt új kihívások elé állítja az igazságügyi szakértőket.

Felhasznált irodalom

2016. évi XXIX. törvény az igazságügyi szakértőkről

BEREK, Tamás – FÖLDI, László – PADÁNYI, József (2020): Hungary's Legal Efforts to Strengthen Climate Resilience. *Sodobni vojaški izzivi / Contemporary Military Challenges*, 22(3), 115–125. Online: <https://doi.org/10.33179/BSV.99.SV1.11.CMC.22.3.7>

BEREK Tamás – RÉPÁS József (2024): Az autonóm harctéri és közlekedési járművek forenzikus vizsgálatának lehetőségei és kihívásai. In GÖCZE István – PADÁNYI József (szerk.): *Szemelvények a katonai műszaki tudományok eredményeiből IV. Hallgatói kötet*. Budapest: Ludovika, 7–20.

Bosch (2024): *CDR Crash Data Retrieval*. Online: https://cdr.boschdiagnostics.com/cdr/sites/cdr/files/15-93_cdr_crash_data_retrieval.pdf

BROWN, Ellie (2024): What is a Car Infotainment System, and How Does it Work? *Evans Halshaw*, 2024. február 1. Online: www.evanshalshaw.com/blog/what-is-a-car-infotainment-system

- Európai Parlament és a Tanács (EU) 2022/2555 irányelve az Unió egész területén egységesen magas szintű kiberbiztonságot biztosító intézkedésekről, valamint a 910/2014/EU rendelet és az (EU) 2018/1972 irányelv módosításáról és az (EU) 2016/1148 irányelv hatályon kívül helyezéséről
- FlexRay [é. n.]: *Járműinformatika. 5. óra*. E-tananyag. Online: www.sze.hu/~korosp/Jarmuinformatika_nappali/05%20-%20Jarmuinformatika%20FlexRay.pdf
- IEEE (2023): 802.3cy-2023 – *IEEE Standard for Ethernet Amendment 8: Physical Layer Specifications and Management Parameters for 25 Gb/s – Electrical Automotive Ethernet*. New York: IEEE, 1–137. Online: <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2023.10213388>
- ITS Standards [é. n.]: *CEN DSRC*. Online: www.itsstandards.eu/its-application-areas/cen-dsrc/
- MIXON, Erica – STEELE, Colin (2022): *OTA Update (Over-the-Air Update)*. Online: www.techtarget.com/searchmobilecomputing/definition/OTA-update-over-the-air-update
- RÉPÁS, József (2023): Definition of Forensic Methodologies for Autonomous Vehicles. *Hadmérnök*, 18(1), 125–141. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2023.1.9>
- RÉPÁS József – NÉMÉDY László (2023): Modern járművek kiberbiztonsága, biztonsági követelményei a szakértői vizsgálatok céljával és lehetőségeivel összefüggésben. In BORZA Veronika et al. (szerk.): *Régi és új kihívások az igazságügyi szakértői munkában*. Budapest: Nemzetbiztonsági Szakszolgálat, 87–129.
- SHEENA, Colin (2024): Israel is Helping to Drive the Evolution of Urban Mobility. *LinkedIn*, 2021. június 30. Online: <https://linkedin.com/pulse/israel-helping-drive-evolution-urban-mobility-colin-sheena>
- STANDER, Adrie – BARNARD, Hanlé (2017): *Digital Forensics and Electronic Evidence*. Online: www.udemy.com/course/digital-forensics-and-electronic-evidence/
- STEFFEN, Rainer et al. (2018): *Near Field Communication (NFC) in an Automotive Environment*. Online: https://itestra.com/wp-content/uploads/2018/03/10_itestra_bmw_nfc_in_an_automotive_environment_01.pdf
- Thales [é. n.]: *OTA (Over The Air)*. Online: www.thalesgroup.com/en/markets/digital-identity-and-security/technology/ota
- TOKODY Dániel et al. (2018): Kiberbiztonság az autópárhban. *Bánki Közlemények*, 1(3), 71–77. Online: <http://bk.bkgk.uni-obuda.hu/index.php/BK/article/view/79>
- Volvo Car USA [é. n.]: *Press Releases*. Online: www.media.volvocars.com/us/en-us/media/pressreleases/321914/photos

Berger Ádám – Kátai-Urbán Lajos – Cimer Zsolt

A veszélyes anyagokkal foglalkozó üzemi kármentők baleseti hatásokkal szembeni ellenállási képességének fejlesztése

A felgyorsult gazdasági és technológiai verseny révén folyamatosan bővülő ipari tevékenységek következtében szükségszerű a már meglévő tárolókapacitások bővítése, valamint újak létesítése. A veszélyes folyadékok, anyagok tárolására szigorú szabályok vonatkoznak, amelyeket nemzetközi és hazai jogszabályok és szabványok tartalmaznak. Azonban a megváltozott környezeti tényezők hatására ezen előírások és irányelvek felülvizsgálata szükségszerűvé vált. A kutatás a veszélyes folyadékok tárolására szolgáló tartályok felfogótereire terjed ki. Ennek keretében a vonatkozó jogszabályi és műszaki előírásokat elemezzük, majd azonosítjuk a felülvizsgálatra szoruló pontokat. A kutatás eredményeként hatósági és üzemeltetői szempontból is méltányos és a gyakorlatban alkalmazható felfogótér-méretezési módszert dolgoztunk ki. Továbbá rendszerezтік azokat a tervezési és karbantartási alapelveket is, amelyek alkalmazásával biztosítható a tárolóból kiszivárgott folyadék biztonságos felfogását nyújtó kármentő megépítése és üzemeltetése.

Kulcsszavak: tárolótartály, felfogótér, tervezés, méretezés, karbantartás

IMPROVING THE ACCIDENT RESILIENCE OF HAZARDOUS MATERIAL REMEDIATION BUND

Industrial activities are constantly expanding due to accelerated economic and technological competition, making it necessary to expand existing storage capacities and create new ones. The storage of hazardous liquids and substances is subject to strict rules, which are laid down in international and national legislation and standards. However, changing environmental factors have made it necessary to review these regulations and guidelines. The research covers the remediation bunds of tanks for the storage of hazardous liquids. In this context, the relevant legal and technical requirements will be analysed and the points in need of revision will be identified. As a result of the research, a method for sizing the remediation bund that is equitable from the point of view of the authorities and the operator and that can be applied in practice will be developed. In addition, the design and maintenance principles to be applied to ensure the construction and operation of a bund to safely contain the spillage will be systematised.

Keywords: storage tank, remediation bund, design, sizing, maintenance

Bevezetés

Alapvető társadalmi törekvésnek tekinthető a fejlődés iránti igény, valamint annak folyamatos kielégítése. Ennek megfelelően a társadalom, a gazdaság és a technológia is szüntelenül fejlődik, egyre gyorsuló ütemben. Mindennapjaink már elképzelhetetlennek tekinthetők a különböző vegyi anyagok felhasználása nélkül, hiszen számos termék (például polipropilén, polietilén, polikarbonát) alapanyagául szolgálnak. Annak érdekében, hogy ezen alapanyagok elérhetővé váljanak, vegyi anyagokat nagy mennyiségben gyártó és felhasználó ipari vállalkozásoknak kell működniük.

Ezt támasztja alá az is, hogy 1965-ben a kereskedelmi forgalomban lévő vegyi anyagok száma körülbelül 60 ezer volt, napjainkban pedig már a 130 ezret is meghaladja. Azonban ezen vegyi anyagok, valamint keverékeik számának és előállítási tömegének exponenciálisnak tekinthető növekedése magában hordozza a nem kívánatos hatások kockázatának mértékét is. Ezen hatások közé tartozik például az adott anyaggal érintkezők egészségkárosodása, a szennyezett terület károsodása, továbbá a külső/belső hatás(ok) révén bekövetkező kémiai balesetek.¹

Meg kell jegyezni, hogy a veszélyes anyagokkal összefüggő tevékenységek szigorú követelményekhez kötöttek. Azonban az elmúlt évtizedekben számos veszélyes anyaggal kapcsolatos káresemény következett be világszerte.

A súlyos káresemények katasztrofális hatással lehetnek a természetes és épített környezetre, valamint az emberekre is. Ebből adódóan előfordulási lehetőségük minimalizálására kell törekedni, amellyel kapcsolatban számos ország és szervezet végzett kutatásokat. A kutatások mellett azonban ki kell emelni a nemzetközi és állami szintű adatbázisok működtetését is. Ezek együttese teremti meg az alapját a hatósági és a műszaki előírások szakszerű és hatékony felülvizsgálatának.²

Mivel a tartályokban nagy mennyiségű veszélyes folyadékot tárolnak, így azok ki vannak téve a tüzek, robbanások és kiömlések kockázatának. Ez esetben a kockázatmenedzsment elemei között az aktív és a passzív védelem, valamint a biztonságirányítási rendszer megfelelő működtetése szerepel.³

A veszélyes folyadékot tároló tartályok esetében előírás, hogy azokat másodlagos elzárással kell ellátni, aminek az egyik módja a tárolótartály felfogótérben történő elhelyezése. Ennek oka, hogy ahol fennáll annak a veszélye, hogy bizonyos események hatására a tárolt anyag a környezetbe juthat, ezáltal károsíthatja

¹ ÉRCES–VASS 2018.

² YANG et al. 2021.

³ SOTOODEH 2024.

az emberi egészséget vagy a környezetet, ott a tárolt anyag felfogására alkalmas teret kell létesíteni.⁴

Az elmúlt években számos olyan veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos ipari baleset következett be (például 2020. május 7. Visakhapatnam, sztirolszivárgás okozta mérgezés; 2005. december 11. Buncefield, a tárolótartály túlsordulása miatti tűz és robbanás), amelyek kiváltó oka meghibásodásra, tartályszerülésre, illetve a nem megfelelően kialakított felfogótérre vezethető vissza.

A tartályok elemét képező felfogóterek meghibásodási okainak vizsgálata időszerűvé vált, tekintettel arra, hogy a megváltozott környezeti tényezők miatt egyre több gazdasági szereplő – az üzemfolytonosság biztosítása érdekében – kezdett bele meglévő tárolókapacitásainak bővítésébe, illetve újak létesítésébe. A fenti két példa is jól szemlélteti, hogy a tárolótartályok esetleges sérülése során nagy mennyiségű veszélyes anyag kerülhet a szabadba. Ez amellett, hogy humán egészségügyi problémákat vet fel, veszélyeztetheti az üzem területén lévő és a szomszédos létesítményeket, a környező lakott területeket, valamint az egyes környezeti elemeket.

A tárolótartályokat az ipar számos területén használják, így például a vegyiparban, az olaj- és gáziparban, valamint az élelmiszeriparban. Ennek megfelelően igen szerteágazó azon anyagok köre, amelyeket a tartályokban tárolnak. A tartályokkal kapcsolatos kockázati tényezők közé jellemzően a szerkezeti hibák, a korrózió, a nem megfelelő működtetési és karbantartási eljárások tartoznak. Ugyanakkor a kockázati tényezők közé vehetők a nem megfelelő létesítési tevékenységek is, mint például a tervezés és a kivitelezés. Ezen kockázati tényezők olyan súlyos ipari balesetekhez vezethetnek, mint a szivárgások, a robbanások, illetve a tüzesetek. Ahogyan a korábbi példákban is volt már utalás arra, ezen balesetek nemcsak az emberi egészséget és életet veszélyeztetik, hanem súlyos gazdasági és környezeti károkat is okozhatnak.⁵

A kutatási téma aktualitását leginkább a 2005-ben bekövetkezett buncefieldi veszélyes anyagokkal kapcsolatos balesettel lehet megindokolni. A káresemény kiváltó oka az egyik tárolótartály túlsordulása volt, amely következtében több mint 300 tonna benzin került a szabadba. Habár a tartály két szintellenőrző rendszerrel is el volt látva, az eseményt megelőzően egyik sem működött megfelelően, így a tartály veszélyes szinten lévő töltöttségére vonatkozó figyelmeztetés, valamint a töltés vészleállítása sem történt meg. Mivel a tartályhoz tartozó felfogótér

⁴ TRÁVNÍČEK et al. 2021.

⁵ HORVÁTH–BLESZITY 2023.

elemeinek illesztései, illetve az átkötéseknél a tömítések nem voltak megfelelőek, így a műtárgyból szivárgott a veszélyes folyadék. Az időközben egyre terjedő gőzfelhő berobbant, és tűz alakult ki. A robbanás keltette lökéshullám, valamint a tartály- és tócsatűz hatására a környező tartályok és felfogóterek is megsérültek. Az utólagos vizsgálatok alapján az érintett felfogótereket a káreseményt megelőzően sem lehetett megfelelőnek tekinteni (például nem mindegyik tudta felfogni a kiáramló anyag és az oltóanyag egészét), azonban a lökéshullám és a tűz, valamint a műtárgyszerkezet belsejébe jutó anyag tovább rontotta állapotukat. Így a veszélyes folyadék, valamint a tűz oltására használt oltóanyag a repedéseken és az illesztési hézagokon keresztül tovább áramolt, aminek következtében a környező területek (vízelvezető csatornák, utak, talaj) szennyeződtek.⁶

A fentiek alapján megállapítható, hogy az iparban széles körben alkalmazott tárolótartályok katasztrófavédelmi aspektusai kritikus fontosságúak annak érdekében, hogy megvalósuljon a biztonságos üzemeltetés, ezáltal megelőzhető legyen a környezeti károk kialakulása. A kockázatok minimalizálásához a megelőző intézkedések, a kockázatelemzési és kockázatkezelési tevékenységek, illetve a vészhelyzeti reagálási tervek mind nagymértékben hozzájárulnak. Tehát a globális biztonság és a környezet védelme érdekében elengedhetetlen a nemzetközi és tagállami előírások és szabványok betartása, valamint folyamatos kontrollja.

A felfogóterek tervezéséhez és létesítéséhez kapcsolódó szabályozás elemzése és értékelése

Új tárolótartály létesítéskor a mindenképpen szükséges kezdeti kérdések (hol, milyen, mekkora) megválaszolása katasztrófavédelmi-iparbiztonsági szempontból iterációs folyamat eredményének tekinthető. Ezen folyamat során az alábbi főbb tényezők figyelembevétele szükséges:

- az üzem által okozott és a már meglévő veszélyeztetés;
- a tartálylétesítés következtében a külső és belső dominóhatások megváltozása;
- a tartálylétesítéssel összefüggő veszélyeztetés növekedése.

Abban az esetben, ha a tervezés megkezdése előtt ezen iterációs folyamat kimarad, vagy nem megfelelően megy végbe, előállhat az az eset, hogy a tárolótartály olyan területre kerül, vagy olyan térfogattal tervezik meg, amely eredményeként az üzem

⁶ *Control of Major Accident Hazards* 2024.

már nem felel meg a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek elleni védekezésről szóló 219/2011. (X. 20.) Korm. rendelet [a továbbiakban: 219/2011. (X. 20.) Korm. rendelet] 7. mellékletében meghatározott kritériumoknak. Így a veszélyes tevékenység a továbbiakban nem lesz folytatható. Az iterációs folyamat részét képező mennyiségi kockázatelemzést a tárolótartály paramétereinek ismerete nélkül, általános jellegű adatok alapján kell elvégezni.

Hazánk iparbiztonsági szabályozása a veszélyes anyagokra vonatkozó súlyos balesetek elleni védekezéssel kapcsolatos jog-, intézmény- és feladatrendszerre épül. A katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról szóló 2011. évi CXXVIII. törvény (a továbbiakban: 2011. évi CXXVIII. tv.) szerint megalakult hatóság szigorú felügyeletet lát el a prevenció jegyében.⁷ Ezért e gondolatmenet alapján javasolt a katasztrófavédelmi-iparbiztonsági hatóságnak bemutatni az elvégzett iterációs folyamat eredményeit. Ezt követően a tervező a tárolótartály-létesítési koncepció alapján megkezdheti a tartály tervezését.

A Budapest Főváros Kormányhivatalának egyes ipari és kereskedelmi ügyekben eljáró hatóságként történő kijelöléséről, valamint a területi mérésügyi és műszaki biztonsági hatóságokról szóló 365/2016. (XI. 29.) Korm. rendeletben [a továbbiakban: 365/2016. (XI. 29.) Korm. rendelet] foglaltak alapján a veszélyes folyadékok és olvadékok (nyomástartó berendezésnek nem minősülő) tárolótartályai és tárolólétesítményei vonatkozásában a fővárosi és a Pest vármegyei kormányhivatal jár el engedélyező hatóságként.

A veszélyes folyadékok vagy olvadékok tárolótartályainak, tárolólétesítményeinek műszaki biztonsági követelményeiről, hatósági felügyeletéről szóló 1/2016. (I. 5.) NGM rendelet [a továbbiakban: 1/2016. (I. 5.) NGM rendelet] ad iránymutatást a tárolótartály létesítésének műszaki biztonsági szabályaira vonatkozóan. A rendelet hatálya kiterjed a veszélyes folyadékok vagy olvadékok tárolótartályainak, tárolólétesítményeinek műszaki-biztonsági hatósági felügyeletéről szóló 216/2019. (IX. 5.) Korm. rendeletben [a továbbiakban: 216/2019. (IX. 5.) Korm. rendelet] meghatározott tárolótartályok és tárolólétesítmények műszaki biztonságára. A létesítési engedélyezési eljárásra a 216/2019. (IX. 5.) Korm. rendelet 4. pontja vonatkozik. Ezen pont szerint a tárolótartály, tárolólétesítmény létesítésére az üzemeltetőnek kell kérelmet benyújtania, amelynek az alábbi fő elemeket szükséges tartalmaznia:

- a tervezett létesítmény 100 m-es körzetéről általános elrendezési terv;
- műszaki leírás és a hozzá tartozó tervrajzok;
- tervezői nyilatkozat(ok);

⁷ ÉRCES et al. 2023.

- a mezőgazdasági rendeltetésű terület termelésből kivonásával kapcsolatos nyilatkozat;
- a vonatkozó szakhatóságok állásfoglalásának kialakításához szükséges tervfejezetek;
- a létesítés jogosultságáról szóló nyilatkozat;
- a nukleáris létesítmény és a radioaktív hulladék-tároló biztonsági övezetéről szóló 246/2011. (XI. 24.) Korm. rendelet [a továbbiakban: 246/2011. (XI. 24.) Korm. rendelet] 7. § (5) bekezdésében meghatározott dokumentum.

A 216/2019. (IX. 5.) Korm. rendelet szerint az engedélyezési dokumentáció részét képező részletes helyszínrajzon (mérethelyesen) fel kell tüntetni a szabályozási és építési vonalakat, valamint jelölni kell az építési előírásokat, korlátozásokat és védőtávolságokat is. Emellett fel kell tüntetni a meglévő és meghagyandó, továbbá a létesítendő építmények külső körvonalait a terep jellegzetességeivel megjelölve. Fontos feltüntetni a tervezett tárolótartálynak, tárolólétesítménynek a telekhatártól és a környező megmaradó építményektől való távolságát.

A 219/2011. (X. 20.) Korm. rendelet értelmében a tárolótartály, tárolólétesítmény általános műszaki leírásának többek között tartalmaznia kell a tárolótartály, tárolólétesítmény főbb adatait, rendeltetését, a technológiai folyamat leírását és műszerezettségét. A rajzdokumentációknak olyannak kell lenniük, hogy azok alapján a tárolótartály, tárolólétesítmény és a hozzá kapcsolódó út- és közműhálózat elrendezése és működése egyértelműen meghatározható legyen. Fontos megjegyezni, hogy ha a létesítés több megvalósulási szakaszra van bontva, akkor az egyes szakaszokra külön-külön is lehet létesítési engedélyt kérni. A létesítési engedélyt a hatóság az engedélyezési dokumentáció, valamint a létesítési követelmények összevetése alapján adja ki, amihez meghatározza az üzembe helyezési engedély megadásához szükséges ellenőrzések módszerét is. Abban az esetben, ha nem új tárolótartály, tárolólétesítmény létesítéséről van szó, hanem átalakításról, akkor azt is szükséges bejelenteni a hatóság részére. Az átalakítás bejelentése során az alábbi dokumentumok szükségesek:

- a tervezett átalakítás minden vetületére kiterjedő tervdokumentáció és a tervezői nyilatkozat;
- a tárolótartályra, tárolólétesítményre vonatkozó elrendezési rajz, amelyen jelölve vannak az átalakítandó vagy javítandó részek;
- a műszaki leírás és a hozzá tartozó tervrajzok;
- a tervezett átalakítás vagy javítás ismertetéséről és részletezéséről szóló dokumentumok.

Az átalakítási tervet készítő tervező határozza meg az átalakításhoz szükséges vizsgálatokat, amelyeket az átalakítási tervben fel kell tüntetni.

A tárolótartály, tárolólétesítmény műszaki biztonsági követelményei kiterjednek a tervezés, a létesítés, a telepítés, az üzembe helyezés és a karbantartás területére. Ezen tevékenységek során az 1/2016. (I. 5.) NGM rendeletben foglaltaknak megfelelően, a *Műszaki Biztonsági Szabályzat* alapján kell eljárni. Abban az esetben, ha a szabályzatban meghatározottaktól eltérő, de egyenértékű műszaki biztonsági megoldás alkalmazására kerül sor, akkor a tervezőtől, a kivitelezőtől és az üzemeltetőtől nyilatkozat szükséges, amellyel szavatolják, hogy a tervezett műszaki megoldással elérhető és fenntartható a mértékadó műszaki biztonsági szint.

A tárolótartállyal, tárolólétesítménnyel szemben támasztott általános követelmény, hogy azt úgy kell megtervezni, kivitelezni és üzemeltetni, hogy üzemszerű működtetése esetén nem jelent veszélyt sem a kezelő személyzetre, sem a környezetre. A tervezés során további fontos kritérium, hogy a környezeti körülmények nem gátolhatják a biztonságos üzemeltetést. Ez akkor biztosítható, ha a létesítmény szerkezetének anyaga úgy lett megválasztva, illetve a méretezése úgy lett elvégezve, hogy üzemeltetése során teljes mértékben megfelel a tartály, létesítmény a funkciójának és a biztonsági követelményeknek. A tervezés során figyelembe kell venni a rendszer egészéből származó minden veszélyforrást és azok kölcsönhatásait, valamint ügyelni kell az illetéktelen beavatkozások okozta káros hatásokra is.⁸

A fentiekben röviden ismertetett előírások elemzését és értékelését követően megállapítható, hogy szükségessé vált a tématerülethez kapcsolódó szabályozók revíziója és aktualizációja. Ezzel összefüggésben az alábbi előírások felülvizsgálata és korszerűsítése javasolt:

- 2011. évi CXXVIII. tv.;
- 219/2011. (X. 20.) Korm. rendelet;
- 234/2011. (XI. 10.) Korm. rendelet;
- 1/2016. (I. 5.) NGM rendelet;
- 216/2019. (IX. 5.) Korm. rendelet;
- MSZ 9910-2:1993 Föld feletti, álló, hengeres acéltartályok éghető folyadékok és olvadékok tárolására. Szerelvényezési, biztonságtechnikai és környezetvédelmi előírások (a továbbiakban: MSZ 9910-2:1993).

A fentiekben felsorolt szabályozók esetében javasolt a felfogóterek nemzetközi szinten alkalmazott meghatározásának integrálása. Továbbá ajánlott kiemelt

⁸ BERGER-KÁTAI-URBÁN-CIMER 2023.

védelmi elemként történő kezelésük, így a velük kapcsolatos speciális létesítési, üzembehelyezési, üzemeltetési és azon belül is az ellenőrzési, karbantartási tevékenységeknek, illetve kritériumoknak a vonatkozó szabályozókban harmonizáltan történő rögzítése. Azonban meg kell jegyezni, hogy a revíziós javaslatok a veszélyes anyagokkal foglalkozó üzemek biztonságos és hatékony működésének szükséges, de nem elégséges feltételei. A tématerület komplexitásából adódóan mindenképpen szükségesnek tekinthető a jogszabályi és a műszaki biztonsági környezet átfogó, valamennyi szereplőre kiterjedő kutatása és további fejlesztése.

Hasonlóan fontos szabályozási területnek minősül a közbiztonsági tervezési kötelezettségek teljesítése, amelyhez kiemelten fontos a biztonságtechnikai rendszerek, így a vagyonvédelmi rendszerek megfelelő rendelkezésre állású telepítése és üzemeltetése.⁹

A felfogóterek méretezési lehetőségeinek bemutatása

Ahogy az előzőekben már ismertettük, a felfogótér célja a valamely esemény(ek) hatására bekövetkező tartálysérülés esetén a kiáramló veszélyes folyadék felfogása és a helyreállító intézkedések megtételéig történő visszatartása. Annak érdekében, hogy egy esetleges káresemény során a felfogótér megfelelően be tudja tölteni funkcióját, a tervezésnél több méretezési szempontot is figyelembe kell venni. Ezen méretezési és kialakítási kérdéskörrel számos hazai, valamint nemzetközi előírás és szakirodalom foglalkozik.

Az 1/2016. (I. 5.) NGM rendelet szerint a mértékadó műszaki biztonsági szint eléréséről és fenntartásáról a tervezőnek, a kivitelezőnek, az üzemeltetőnek, valamint a tárolólétesítménnyel rendelkezni jogosultnak nyilatkozatot kell tennie a hatósági eljárás során. Ezért a terület vonatkozásában mérvadó szabványokban foglaltakat kell alkalmazni.

Az MSZ 9910-2:1993 szabvány szerint a felfogótér befogadóképességét úgy kell megállapítani, hogy egy esetleges káresemény során a felfogótérből ne folyhasson ki a tárolt anyag. Mivel egy felfogótérben több tartály is elhelyezhető, így erre vonatkozóan a szabvány az alábbi előírásokat fogalmazza meg a tartálycsoport névleges űrtartalmát illetően:

⁹ TÓTH 2024.

- nyersolaj és nyerstermelvény esetén nem haladhatja meg a 10 ezer m³-t;
- 1–2. tűzveszélyességi fokozatú anyag esetén nem haladhatja meg a 20 ezer m³-t;
- 3. tűzveszélyességi fokozatú anyag esetén, 100 °C nyílt téri lobbanáspont alatt nem haladhatja meg a 30 ezer m³-t;
- illetve 100 °C nyílt téri lobbanáspontú anyag esetén nem haladhatja meg a 120 ezer m³-t.

Az MSZ 9910-2:1993 szabvány a fentiek mellett iránymutatást ad a felfogótér folyadékkal tölthető térfogatára is, amely szerint a felfogótér szükséges térfogata:

- egy tartály esetén a tartály névleges térfogatának 100%-a;
- tartálycsoport esetén a felfogótérben elhelyezett tartályok névleges össz-térfogatának 50%-a, vagy ha valamely tartály azt meghaladja, akkor annak a névleges űrtartalma;
- nyersolaj vagy nyerstermelvény tárolása esetén a felfogótérben elhelyezett tartályok névleges össz-térfogatának 75%-a.

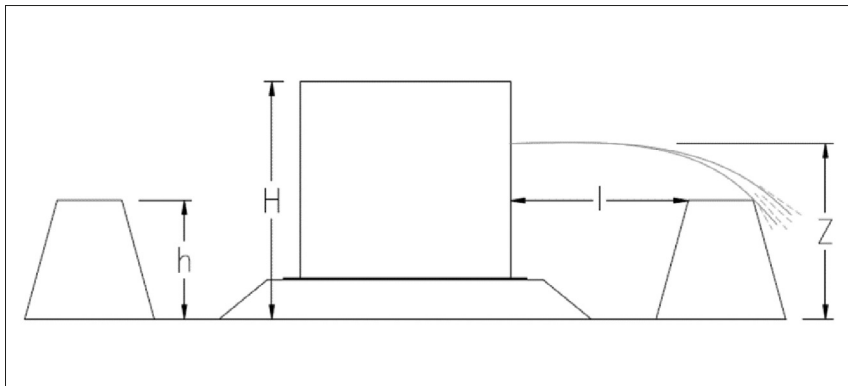
A felfogótérek építési előírásaira vonatkozóan a szabvány a következőket fogalmazza meg:

- a felfogótér anyaga nem éghető, kellő szilárdságú és tömör;
- kialakításuk történhet földbe süllyesztéssel, körülsáncolással, illetve stabil falakkal;
- ügyelni kell arra, hogy tartályszerülés esetén a sugárban kiáramló folyadék minden esetben a felfogótéren belülre kerüljön;
- gondoskodni kell az oltó- és csapadékvíz gyűjtéséről és elvezetéséről;
- a felfogótérben az üzemeltetéshez szükséges út, szállítópálya és tűzvédelmi szerelvényeken kívül egyéb berendezés nem lehet.

A fentiek alapján megállapítható, hogy a jogszabályok és az előírások alapvető célja a veszélyes anyagokkal kapcsolatos balesetekkel szembeni prevenció. Ugyanakkor meg kell említeni, hogy a szabvány által még engedélyezett sáncolások kialakítás az ipari gyakorlatban már nem jellemző, aminek biztonsági, műszaki és gazdasági okai is vannak.

A *US Environmental Protection Agency Spill Prevention Control and Counter-measure Plan* (a továbbiakban: SPCC) a méretezést a következő lépésekkel írja le:

- a másodlagos konténment térfogatának leírása;
- a tartály térfogatának meghatározása;



7.1. ábra. A HSNOCOP 47 szerint használt jelölések magyarázata

Forrás: Environmental Protection Authority 2023

- a másodlagos konténment térfogatának a tartály térfogatához viszonyított százalékos értékének meghatározása;
- a másodlagos konténment térfogatának növelése a csapadék befogadásához.¹⁰

Az *Environmental Protection Authority Secondary Containment System* (a továbbiakban: HSNOCOP 47) méretezési ajánlásában a megfelelő felfogótér-kapacitás mellett már figyelembe veszi a tartályból kiáramló folyadék felfogótér falán történő átbukására való tervezést is. Eszerint a következő képletekkel számítható a felfogótér fala és a tartály fala közötti távolság (I), valamint a felfogótér falának magassága (Z).¹¹

$$I = [4(Z - h)(H - Z)]^{0.5} \quad (1)$$

$$Z = 0,5H + 0,5h \quad (2)$$

$$I_{\min} = H - h \quad (3)$$

Az (1), a (2) és a (3) képletéhez tartozó jelölések magyarázatát a 7.1. ábra segíti.

¹⁰ United States Environmental Protection Agency 2023.

¹¹ Environmental Protection Authority 2023.

A kutatás során olyan méretezési módszer kidolgozása volt a cél, amely mellett, hogy eleget tesz a feltételként megszabott „110%-os szabálynak”, figyelembe veszi a felfogótér falának magasságát, illetve távolságát a tartály palástjától. Ezáltal biztosítja, hogy az esetleges tartályszerülés esetén kiáramló veszélyes folyadék a felfogótéren belül maradjon. A módszerrel kapcsolatos további cél volt, hogy a fenti biztonsági kritériumoknak való megfelelés mellett az indokoltnál nagyobb falmagasságot ne tegyen szükségessé. Ezáltal ne jelentsen a szükségesnél magasabb anyagi terhet az üzemeltetőnek.

Az újonnan kifejlesztett méretezési módszer I. összetevőjével a felfogótér optimális x és y paraméterre lehet tervezni. Az optimális ebben az esetben azt jelenti, hogy a tartály magasságához (H) viszonyítva meghatározzuk a folyadéknak azt a maximális kiáramlási távolságát (x_{Tmax}), amelyet alapul véve kiszámítható az a minimális felfogótér-fal-magasság (y) és -távolság (x), amellyel biztosítható a szükséges térfogat és a falon történő átfolyás kockázatának kizárása. Az ezen összetevőhöz tartozó képletek az alábbiak:

$$x = \frac{1}{3} \times x_{Tmax} \quad (4)$$

$$y = \frac{2}{3} \times x_{Tmax} \times 1,05 \quad (5)^{12}$$

A módszer II. összetevőjével adott tartályfal és felfogótér-fal közötti távolsághoz (x) számítható ki a felfogótér falának minimális magassága. Tehát ezen esetben a tervező határozza meg az x értékét, amelyhez a (6) képlet adja meg a szükséges y értéket. Az ezen összetevőhöz tartozó képlet az alábbi:

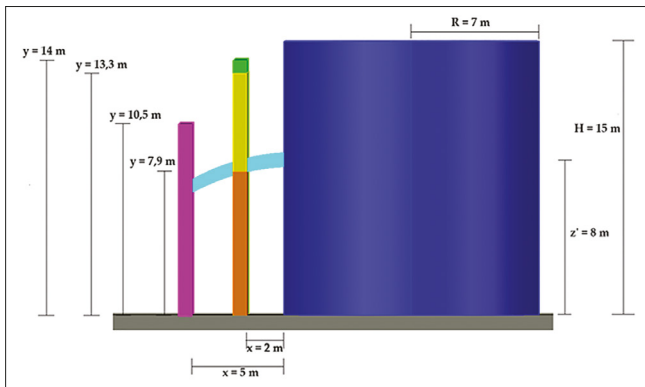
$$y = 0,35 \times x_{Tmax} + 0,62 \times (x_{Tmax} - x) \quad (6)^{13}$$

Adott tartálymagasság (H), tartállysugár (R), tartálytér-fogat ($V=2\,307,9\text{ m}^3$) és tartálytól való távolság (x) esetén az SPCC, a HSNOCOP 47 és a kutatás során kifejlesztett méretezési módszer összetevői által számított felfogótér-paramétereket a 7.2. ábra szemlélteti.

A 7.2. ábra alapján elmondható, hogy üzemeltetői és hatósági szempontból megfelelőnek tekinthető az újonnan kifejlesztett módszer, mivel az SPCC alapján meghatározott paraméterekkel bíró felfogótérnél biztonságosabb, a HSNOCOP

¹² BERGER et al. 2024.

¹³ BERGER et al. 2024.



7.2. ábra. A tartály és az egyes módszerekhez tartozó felfogótér falainak ábrázolása (SPPC, HSNOCOP 47, az új módszer I. összetevője, az új módszer második összetevője)

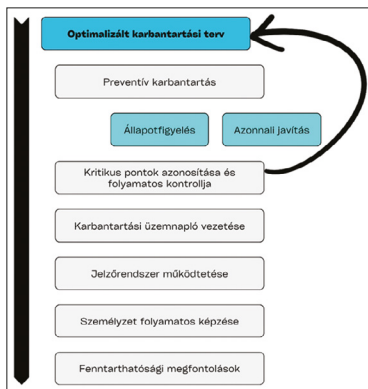
Forrás: BERGER et al. 2024

47 szerint tervezett felfogótérnél pedig költséghatékonyabb (0,7 méterrel kisebb falmagasság, így alacsonyabb építési költség). Illetve az esetleges kárelhárítási munkálatok némileg egyszerűbben végezhetők el a II. összetevő alapján méretezett felfogótér esetén.

A felfogóterekkel kapcsolatos karbantartási és anyaghasználati ajánlások bemutatása

Az üzemeknek és azok létesítményeinek a rendszeres és megfelelő karbantartása több okból is kiemelt jelentőséggel bír, ezek közül a legjelentősebbnek tekinthetők az alábbiak:

- biztosítja a létesítmények, berendezések és eszközök biztonságos és hatékony működését, amely kulcsfontosságú a munkavállalók, az épített környezet és a természet biztonsága, valamint a termelés folytonossága szempontjából;
- segít a lehetséges problémák és meghibásodások időben történő azonosításában és kezelésében, így azok megelőzhetővé válnak még azelőtt, hogy veszélyes balesethez vezetnének;
- általa minimalizálható a létesítmény, berendezés, eszköz állásideje, ezáltal csökkenthető a költséges javítások, illetve cserék kockázatának mértéke;



7.3. ábra. A kutatás keretében kidolgozott karbantartási modell grafikus megjelenítése

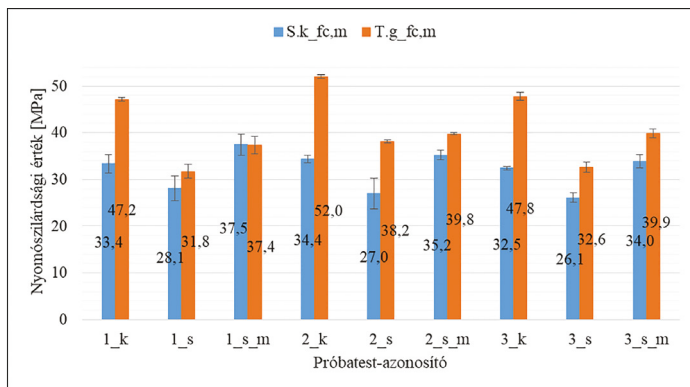
Forrás: a szerzők szerkesztése

- meghosszabbítja az üzem létesítményeinek, berendezéseinek és eszközeinek hasznos élettartamát, ami azok megtérülési idejét is pozitívan befolyásolja;
- az így karbantartott létesítmények, berendezések és eszközök hatékonyabban működnek, kevesebb energiát fogyaszthatnak, valamint működési költségeik is kedvezőbbek lehetnek.

A fenti felsorolással összhangban a veszélyes folyadékot tároló tartályok, létesítmények és csatlakozó szerelvényeik vonatkozásában az üzemeltetők részére javasolt a 7.3. ábra szerinti karbantartási modell alkalmazása.

A savak és lúgok (vas)betonra kifejtett hatásaival számos kutató foglalkozott. Kutatásaik alapján a következőkben összefoglalt főbb megállapításokra jutottak. A szervetlen savak, a sók, egyes esetekben a lúgok nedvesség jelenlétében káros kémiai, illetve fizikai elváltozást okozhatnak a betonban. A korrózív savakat és sókat jellemzően a talajvizek, a szennyvizek, az ipari és mezőgazdasági folyadékok, esetlegesen a szennyezett levegő hordozza/tartalmazza. A beton oldódásos korrózióját alapvetően a savas kémhatású oldatok váltják ki, azonban a kénsav, illetve a szulfátok idézhetnek elő duzzadásos korróziót is. Betonkorróziót a lúgok közül jellemzően az ammónia vizes oldata okozhat.¹⁴ A szakirodalmi források és a fentiekben írtak alapján levonható következtetés, hogy a (vas)betonszerkezetek

¹⁴ BALÁZS et al. 2021; ERDÉLYI et al. 2018.



7.4. ábra. A roncsolásmentes és a roncsolásos módszer szerinti átlagos nyomószilárdsági értékek összehasonlítása

Forrás: a szerzők szerkesztése

kémiai ellenállóságának vizsgálata kiemelt jelentőséggel bír a veszélyes anyagokkal foglalkozó üzemek vonatkozásában.

A kutatás keretében elvégzett laboratóriumi vizsgálat során az alkalmazott receptúra egy, az ipari gyakorlatban elterjedten használt betonkeverék, valamint az MSZ 4798:2016 szabvány szerinti beton. A műszaki követelményeket, a tulajdonságokat, a készítést és a megfelelőséget, valamint az EN 206 alkalmazási feltételeit Magyarországon szabvány szerinti környezeti osztályokkal szemben támasztott kritériumok alapján határozták meg. Ezek alapján a keverék szabványos betonjele a következő: C35/45-XC4-XA5(H)-XK2(H)-XV2(H)-16-F4-100 év MSZ 4798. A vizsgálat alatt három mérési ciklusban 10-10 darab 150×150×150 mm élhosszúságú beton próbakockát készítettünk el. A próbakockák kizsaluzása után azokat 7 napos korig vízben, majd azt követően 28 napos korig laborlevegőn tároltuk.

Mérési ciklusonként 3-3 próbakocka bevonatolása történt meg, amely során bevonatoló anyagként a Sikagard®-62 kétkomponensű epoxigyantát alkalmaztuk. A védőbevonatot minden esetben 2 rétegben vittük fel, és a két réteg között 11 óra várakozási időt, a teljes keménység elérésére pedig 10 nap várakozási időt állapítottunk meg. Ezt követően (mérési ciklusonként) 6-6 próbakocka agresszív kémiai hatásnak lett kitéve (HCl 20%), 3-3 pedig laborlevegőn volt tárolva.

A próbakockák kitéti idejének (1. ciklus – 24 óra, 2. ciklus – 72 óra, 3. ciklus – 144 óra) lejárta után, azok megtisztítását és szárítását követően végrehajtották a testek roncsolásmentes és roncsolásos nyomószilárdság-mérését. A 7.4. ábrán

az átlagos nyomószilárdsági értékek összehasonlítása látható a roncsolásmentes és a roncsolásos módszer vonatkozásában. A próbakocka-azonosítóban az első szám a mérési ciklust, a második szám a mérési cikluson belüli kocka sorszámát, a „k” a kontrollkockát, az „s” a bevonat nélkül savba helyezett kockát, az „s_m” pedig a bevonatolt savba helyezett kockát jelöli.

A 7.4. ábra alapján megfigyelhető, hogy a Schmidt-kalapáccsal végzett mérések ($S.k_{fc,m}$) esetében a kontrollpróbatestek átlagos nyomószilárdsági értékei és a betontörő géppel végzett mérések ($T.g_{fc,m}$) ugyanezen értékei között nagyobb különbség van valamennyi mérési ciklust tekintve. Ugyanakkor ezen különbségek a sósavban áztatott, bevonat nélküli próbatestek esetében mérséklődtek. A sósavban áztatott, bevonatolt kockák vonatkozásában pedig további csökkenés figyelhető meg, amely során már-már kiegyenlítettné tekinthetők.

Következtetések

A kutatómunka három fő kutatási probléma részletes vizsgálatára terjedt ki, amelynek része a felfogóterek tervezéséhez és létesítéséhez kapcsolódó jogi szabályozás alkalmazhatóságának és a méretezési módszereknek a vizsgálata, valamint a karbantartási és anyaghasználati ajánlások fejlesztése volt.

A kutatás eredményei alapján az alábbi összegzett következtetéseket vontuk le:

1. A felfogótereket a jogszabályok, az útmutatók és a vonatkozó szabványok a katasztrófavédelmi-iparbiztonsági és a műszaki biztonsági aspektusok szerint is a tárolótartályok kapcsolódó védelmi elemének tekintik. Ugyanakkor azokban speciálisan a felfogóterekre irányuló ellenőrzési, felülvizsgálati és karbantartási tevékenységeket nem állapítottak meg. Azonban egyértelműen levonható következtetés, hogy a felfogóterek kiemelt jelentőséggel bírnak mint másodlagos védelmi zár. Ebből adódóan javasolt azok tervezési, létesítési, ellenőrzési, felülvizsgálati és karbantartási tevékenységeinek kiemelten történő kezelése a vonatkozó szabályozókban.
2. Az ismertetett források alapján megállapítható, hogy számos felfogótér-méretezési módszert alkalmaznak a gyakorlatban, amelyek zömében a „110%-os szabályra” épülnek. Azonban ezen módszerek jellemzően nem veszik figyelembe az esetleges káresemény során a kiáramló veszélyes folyadéknek a felfogótér falán történő átfolyásának kockázatát. Ebből adódóan káresemény során a nem megfelelően méretezett felfogótér nem tudja maradéktalanul betölteni funkcióját. A kutatás keretein belül kifejlesztett új

méretezési módszer mindkét összetevője biztosítja a „110%-os szabálynak” való megfelelést, továbbá a kiáramló folyadéknak a felfogótér falán történő átfolyásának kizárását is.

3. Megállapítható továbbá, hogy az üzemek rendszeres és megfelelő karbantartása kulcsfontosságú a hatékonysági, műszaki biztonsági és iparbiztonsági követelmények teljesítése miatt. A bemutatott karbantartási modell révén megvalósíthatóvá válik az üzem és létesítményeinek biztonságos és hatékony működése.
4. Az elvégzett laboratóriumi vizsgálatok eredményei alapján megállapítható, hogy a káresemény elhárítását és az érintett betonfelületek megtisztítását követően a betonfelület nyomószilárdsági értéke jól közelíthető roncsolásmentes módszerrel. Így a káresemény elhárítását követően – a felső réteg megtisztítása után – ajánlott a Schmidt-kalapáccsal történő nyomószilárdsági vizsgálat elvégzése. Majd a mért nyomószilárdsági értékek, illetve további vizsgálatok eredményei alapján annak eldöntése, hogy a felfogótér elbontása vagy javítása/felújítása a szükséges lépés.

Felhasznált irodalom

- 1/2016. (I. 5.) NGM rendelet a veszélyes folyadékok vagy olvadékok tárolótartályainak, tároló-létesítményeinek műszaki biztonsági követelményeiről, hatósági felügyeletéről
2011. évi CXCVIII. törvény a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról
- 216/2019. (IX. 5.) Korm. rendelet a veszélyes folyadékok vagy olvadékok tárolótartályainak, tároló-létesítményeinek műszaki-biztonsági hatósági felügyeletéről
- 219/2011. (X. 20.) Korm. rendelet a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek elleni védekezésről
- 246/2011. (XI. 24.) Korm. rendelet a nukleáris létesítmény és a radioaktív hulladék-tároló biztonsági övezetéről
- 365/2016. (XI. 29.) Korm. rendelet Budapest Főváros Kormányhivatalának egyes ipari és kereskedelmi ügyekben eljáró hatóságként történő kijelöléséről, valamint a területi mérésügyi és műszaki biztonsági hatóságokról
- BALÁZS L. György et al. (2021): Betonok oldódásos korróziója – szakirodalmi áttekintés 2. rész: A cement kötőanyagú betonok agresszív, szervesetlen anyagok okozta oldódásos fizikai, kémiai korróziója. In BALÁZS L. György (szerk.): *NVKP_16-1-2016-0019 Fokozott ellenálló képességű (kémiai korrózióknak fokozottan ellenálló, tűzálló és fagyálló) beton termékek anyagtudományi, kísérleti fejlesztése*. Projektbeszámoló. Budapest: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 367–378.

- BERGER, Ádám et al. (2024): Applicability of Design Methodology for the Remediation Bund of Flammable Dangerous Liquid Storage Tanks. *Fire*, 7(7), 246. Online: <https://doi.org/10.3390/fire7070246>
- BERGER, Ádám – KÁTAI-URBÁN, Lajos – CIMER, Zsolt (2023): Principles for the Outdoor Storage of Dangerous Goods in Parcels. In BODNÁR, László – HEIZLER, György (szerk.): *3rd Fire Engineering & Disaster Management Prerecorded International Scientific Conference*. Book of Extended Abstracts. Budapest: Védelem Tudomány, 149–152.
- Control of Major Accident Hazards (2024): *Buncefield: Why Did it Happen? The Underlying Causes of the Explosion and Fire at the Buncefield Oil Storage Depot, Hemel Hempstead, Hertfordshire on 11 December 2005*. Online: https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20220701173308mp_/https://www.hse.gov.uk/comah/buncefield/buncefield-report.pdf
- Environmental Protection Authority (2012): *Secondary Containment Systems HSNOCOP 47*. Wellington: New Zealand Government. Online: www.worksafe.govt.nz/assets/dmsassets/2/2269WKS-1-hazardous-substances-ACOP-Secondary-containment-systems.pdf
- ERDÉLYI Attila et al. (2018): Savállóak lehetnek-e a betonok? *Vasbetonépítés*, (3), 57–66. Online: <https://doi.org/10.32969/VB.2018.3.2>
- ÉRCES, Gergő et al. (2023): Fire Safety in Smart Cities in Hungary with Regard to Urban Planning. *Journal of Integrated Disaster Risk Management*, 13(2), 104–128. Online: <https://doi.org/10.5595/001c.91474>
- ÉRCES Gergő – VASS Gyula (2018): Veszélyes ipari üzemek tűzvédelme ipari üzemek fenntartható tűzbiztonságának fejlesztési lehetőségei a komplex tűzvédelem tekintetében. *Műszaki Katonai Közöny*, 28(4), 2–22. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/mkk/article/view/1489/808>
- HORVÁTH Galina – BLESZITY János (2023): Mentő tűzvédelmi nemzetközi statisztikai adatok feldolgozása. *Védelem Online*, (30), 1–10. Online: <https://vedelem.hu/letoltes/anyagok/944-mento-tuzvedelmi-nemzetkozi-statisztikai-adatok-feldolgozasa.pdf>
- MSZ 4798:2016 Beton. Műszaki követelmények, tulajdonságok, készítés és megfelelőség, valamint az EN 206 alkalmazási feltételei Magyarországon
- MSZ 9910–2:1993 Föld feletti, álló, hengeres acéltartályok éghető folyadékok és olvadékok tárolására. Szerelvényezési, biztonságtechnikai és környezetvédelmi előírások
- SOTOODEH, Karan (2024): Chapter 10: Safety Systems for Storage Tanks. In SOTOODEH, Karan: *Storage Tanks Selection, Design, Testing, Inspection, and Maintenance*. Amsterdam: Elsevier, 301–326. Online: <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-23909-0.00005-9>
- TÓTH Levente (2024): Hazai közterületi videomegfigyelő rendszerek állapota és fejlesztési lehetőségei. *Belügyi Szemle*, 72(2), 243–265. Online: <https://doi.org/10.38146/BSZ.2024.2.4>
- TRÁVNÍČEK, Petr et al. (2021): Prevention of an Atmospheric Storage Tank Bund Failure. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 70, 104438. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2021.104438>
- United States Environmental Protection Agency (2011): *Spill Prevention Control and Countermeasure (SPCC) Plan. Single Vertical Cylindrical Tank Inside a Rectangular or Square Dike or Berm*. Online: www.epa.gov/sites/default/files/2014-04/documents/example_single_vertical.pdf
- YANG, Ping et al. (2021): Safety Evaluation of Major Hazard Installations Based on Regional Disaster System Theory. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 69, 104346. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104346>

Csanádi Győző – Munk Sándor

Az információmenedzsment tárgyának komplexitása

A katonai szervezetekben a szervezeti információ erőforrás, amelyet menedzselni kell. A katonai információmenedzsmentnek képesnek kell lennie a működés fenntartására komplex információs folyamatok megjelenése esetén is. Az információmenedzsment folyamatokat menedzsel, amelyek idővel, a mennyiségek, valamint a kapcsolatok növekedésével egyre összetettebbé válnak. A folyamatok komplikált, sőt komplex rendszert alkotnak. Az összetettség mértéke tudományos módszerekkel vizsgálható. Az összetettség mértékétől függően az egyszerű, komplikált, komplex és a horribile dictu kaotikus rendszerek menedzsmentje rendre más megközelítést igényel. Jelen tanulmány elméleti alapon igazolja az információmenedzsment által menedzselt információ működési rendszerének komplex jellegét, meghatározza annak sajátosságait, és ennek alapján következtetéseket fogalmaz meg az információmenedzsment fejlesztési irányaira, feladataira a katonai alkalmazásban és a Magyar Honvédségben.

Kulcsszavak: információ, információmenedzsment, komplexitás, kaoszelmélet

DETERMINING THE COMPLEXITY OF INFORMATION MANAGEMENT

In military organizations, organizational information is a resource that must be managed. Military information management must be able to maintain operations even when complex information processes appear. Information management manages processes that become more difficult over time, as growing number of connections within enlarging volumes. The processes form a complicated and even complex system. The degree of complexity can be studied by scientific methods. Depending on the degree of complexity, the management of clear, complicated, complex and horribile dictu chaotic systems requires different approaches. The present study proves the complex nature of the processes managed by information management on a theoretical basis, defines its nature and based on this, formulates conclusions on the development directions and tasks of information management in military application and in the Hungarian Defence Forces.

Keywords: information, information management, complexity, chaos theory

Bevezetés

A különböző mértékű bonyolultság megragadható minőségkülönbséget jelent, ennek megfelelően másképp kell kezelnünk az egyszerű, a komplikált és a komplex problémákat. A „kaotikus” jelzõt szociokulturális okokból negatív minőségnek érezzük, holott tudományos szempontból nem feltétlenül az. Ennek megfelelően érdemes megvizsgálni az információmenedzsment tárgyának komplexitását is, így sajátos, más hasonló rendszereknél is alkalmazható eljárásokat és elveket találhatunk meg.

A cikk első részében bemutatjuk a komplexitás jelenségét, illetve szakirodalmát. A következő rész az információmenedzsment rövidebb bemutatása után egy egyszerű, de előállításához annál nagyobb erőfeszítést követelő holisztikus modell felállításával lehetőséget biztosít az információmenedzsment tárgya komplexitásának igazolására. A továbbiakban az igazolt komplexitás tényére alapozva, több módszert és ajánlást figyelembe véve a lehetséges fejlesztési irányok meghatározása történik meg.

Összefoglalva jelen munkának három tárgya van, a komplexitás jelensége, az információmenedzsment és a kettő egymásra hatása.

A komplexitás fogalma, a komplex rendszerek jellemzői

*A komplexitás fogalma,
komplexitástudomány, komplexitáselméletek*

A komplex szó a görög *πλεκτός*, *plektosz* (fonott),¹ valamint a latin *con-plecti* (körülfon, átfon) igéből (*con-*: együtt, össze; *plectere*: fon),² továbbá a származtatott *complector*, *complecti* ige bekerít, körülfog, körülvesz, összefoglal³ jelentéseiből, illetve a *complexus* „összefont, redőzött, összetett” jelentéstartalmából érthető meg. A szó tehát etimológiájából következőleg az összetartozó, rendszerint különmű dolgokból összekapcsolt, fonódó elemeket tartalmazó és az abból következő nehéz megértést okozó bonyolultságot jelenti.

¹ Glosbe [é. n.].

² Magyar etimológiai szótár [é. n.].

³ DictZone [é. n.].

A bonyolultságnak van egy másik, igen hasonló latin töből kialakult kifejezése, a komplikált. Itt azonban a *con-* (együtt, össze) és a *plicare* (rétegez, göngyöl, hajt) ige képzett alakjáról van szó. A komplikált tehát az elsődlegesen, fizikai jelenségéből következőleg egynemű, összehajtott dolog összetettségét jelenti.

A komplexitás és a komplikáltság fogalmának jelentésében közös vonás a nehéz megérthetőség, ami elmosódottá teszi a két fogalom határát.⁴ Így érthető, hogy a köznap használatban a „bonyolult”, a „komplikált” és a „komplex” szó szinonimaként jelenik meg.⁵

Általános jelenség, hogy a tudományos repozitóriumokban végzett keresési találatok több mint 90%-ában a „komplex” és a „komplexitás” kifejezés különösebb kifejtés nélküli jelzős szerkezetben szerepel, azaz egy szakterületen belüli bonyolultság pusztá tényével foglalkoznak, anélkül, hogy a komplexitásnak magának a működését és jellemzőit, annak általános természetéből adódó kihatásait elemeznék.

A komplexitástudomány megalapozása az entrópia, az evolúció, a dinamika és a számítástudomány koncepcióinak kidolgozásával már a 19. században megkezdődött.⁶ Allen B. Downey a komplexitástudomány elnevezés elterjedését a 80-as évekre teszi.⁷

Az évtized közepén, 1984-ben létrehozták az első olyan kutatóintézetet, a Santa Fe Intézetet,⁸ amelynek fő kutatási témája a komplexitás. M. Mitchell Waldrop szerint a 21. század első évtizedének végén azonban még nem létezett sem elismert önálló komplexitástudomány, sem önálló komplexitáselmélet.⁹

Ma már elmondhatjuk, hogy a komplexitás megjelenik a tudományos felosztásban. A Magyar Tudományos Akadémia tudományági nómenklatúrájában¹⁰ szerepel a *Nemlineáris dinamikai és komplex rendszerek* tudományág. A szakterületek széles skáláján találkozhatunk a különböző komplexitáselméletekkel: a rendszerek, azon belül a dinamikus rendszerek elméletében, a hálózatelméletben, a kaoszelméletben, a fraktálgeometriában, a rendszerbiológiában és az evolúcióelméletben, a szintetikus biológia és a mesterségeseslet-kutatás területén, a pszichológiában és a kognitív tudományokban, illetve a klímakutatásokban.¹¹

⁴ HOLLAND 2014: 3–4.

⁵ Szinonimaszótár [é. n.].

⁶ KRAKAUER 2024a: 14–33.

⁷ DOWNEY 2018.

⁸ VICSEK 2008: 305.

⁹ MITCHELL 2009: 14.

¹⁰ MTA [é. n.].

¹¹ SZIGETI 2021: 7.

A komplexitáshoz szorosan kapcsolódó fogalom a káosz. A *khaosz* ókori mitológiai kifejezés, görögül (χάος) sötét mélységet jelent, amelyet a teremtés elrendezésével a kozmoszá alakít. A szó eredeti jelentésében „[a] rendezett világ keletkezését megelőző, szerkezet nélküli és alaktalan állapot”.¹² A hétköznapi szóhasználatban is a káosz kifejezést a dolgok *rendezetlenségével* kapcsolatban használjuk. A tudományban a káosz elsősorban a rendszerek jövőbeli állapotának *előrejelezhetetlenségének* korlátait fejezi ki. A káosz lehet *nem determinisztikus*, ez a kvantummechanikai értelmezés, amely kívül esik jelen munka hatókörén, illetve *determinisztikus*.¹³ A klasszikus káoszelmélet a nemlineáris¹⁴ determinisztikus dinamikus¹⁵ rendszerek viselkedésének bizonyos határon túl fellépő megjósolhatatlan állapotait kutatja. A determinisztikus káosz a rendszerek energiatárolási képességétől függően lehet hamiltoni¹⁶ és nem hamiltoni,¹⁷ azaz *tiszta káosz*.¹⁸ A kaotikus rendszerek a nemlinearitásból következő aránytalan növekedések miatt rendkívül érzékenyek a kezdeti paraméterek változásaira. A kaotikus viselkedés a globális keveredés és a lokális instabilitás jelenségének együttes eredménye.¹⁹

A komplexitás általában a rendszerek leíró tulajdonsága, így *komplex rendszerekről* beszélünk. A komplex rendszerek működésük során több állapotot vehetnek fel. Ezeknek a lehetséges állapotoknak az összességét nevezzük állapot- vagy *fázistérnek*.²⁰ A komplex rendszerek működését úgynevezett *attraktorok* befolyásolhatják. Ezek külső vonzerők, amelyek lehetnek stabilak, periodikusak vagy kaotikusak/különösök. Az attraktor irányába való törekvés energiát von el a működő rendszertől. Kaotikus rendszereknél különös attraktorokról²¹ beszélünk.

¹² Magyar katolikus lexikon [é. n.].

¹³ Determinisztikus: amikor egy rendszer állapota egy korábbi állapotából következik. MADRID 2020: 67.

¹⁴ Nemlineáris: változó ütemben növekvő vagy csökkenő.

¹⁵ Dinamikus: időben változó.

¹⁶ William Rowan Hamilton (1805–1865) fizikus és matematikus. Mechanikai elmélete megalapozza a dinamikus rendszerek vizsgálatát, az elektromágnesesség és a kvantumfizika alapja. A matematikában kiterjeszti a komplex számok rendszerét.

¹⁷ Hamiltoni káosz: az energiát megőrző rendszerekben lép föl. A kiszámíthatatlanság a rendszert leíró differenciálegyenletek által meghatározott görbék egyik jelensége, az úgynevezett *nyeregponatok* matematikai tulajdonságaiból adódik. Nem hamiltoni káosz: a folyamat során energiát veszítő vagy *enegiaszóró* rendszerekben lép föl, ahol a folyamatot befolyásoló tényező energiát vesz el a rendszertől.

¹⁸ MADRID 2020: 81.

¹⁹ FRADKOV 2006: 1.

²⁰ GLEICK 1887: 49–53.

²¹ A különös attraktorok általában fraktáltermészetű, a fraktálok önhasonlóságát mutató összetett attraktorok.

A komplexitáselméletekben komplexnek nevezik azokat az összetett dinamikus rendszereket, amelyeknek általában a számos részelem között kialakuló változatos kapcsolatokból adódóan az adott komplexitáselméletben meghatározott jellemzői vannak. Losonczi Márk Claire Hansenre²² támaszkodva felsorol több ilyen eltérő komplexitáselméletből származó jellemzőt:²³ a rendszer nyíltsága, középpont-nélküliség; emergencia,²⁴ nemlineáris interakciók; visszacsatolások; instabilitás; sohasem teljes rendszerezettség;²⁵ hiszterézis,²⁶ önhasonlóság;²⁷ önszerveződés, autopoieszis;²⁸ az egész és a részek kölcsönhatása; attraktorok.

Az információelmélet és a komplexitástudomány számos szerzője és érintett tudományága azonos, így a fejlődés során szorosan összekapcsolódtak.²⁹ A két diszciplína széles körű tudományági érintettsége és az abból következő jelentősen eltérő tudományos nézőpontok okán sem a komplexitásnak, sem az információnak nincs még egységesen elfogadott definíciója, ahogy azt mások mellett Paksi,³⁰ Estrada,³¹ Floridi³² és Stodola³³ megállapítja.

A „komplex” szó köznapi használatú, jelzős szerkezetben bármely dolog összetettségének és bonyolultságának valamilyen, de leginkább jelentős mértékét jelenti. A tudományos nyelvvezetben a használat két tipikus formáját figyelhetjük meg. A legelterjedtebb, amikor a köznapi használatához közelítő módon bizonyos tudományos probléma bonyolultságának jelzőjeként használják, a továbbiakban „jelzős használatként” hivatkozunk rá. A rendszerek vizsgálata során azonban szűkebb körű értelmezés alakult ki, amely az összetett dinamikus rendszerek bizonyos sajátos tulajdonságokkal és viselkedési módokkal rendelkező csoportjának megjelölésére és leírására szolgál.

²² HANSEN 2019: 13–23.

²³ LOSONCZI 2021: 122–123.

²⁴ Emergencia: „Bizonyos részletek, bizonyos folyamatai egy új, a részletekre nem jellemző átfogó tulajdonság, (minőség) megjelenéséhez vezetnek.” PAKSI 2021.

²⁵ Soha nem teljes rendszerezettség: a rendszer azon tulajdonsága, amelynek lényege, hogy a felépítésről soha nem rendelkezünk teljes információval.

²⁶ Hiszterézis: történetiség. Bővebben lásd LOSONCZI 2021: 122.

²⁷ Önhasonlóság: az alacsonyabb szintek szerkezete visszatükrözi a magasabb szintek szerkezetét.

²⁸ *Autopoieszis*: önkotás. Díaz Nafria szerint a 70-es években Maturana és Valera, két chilei biológus által kidolgozott koncepció, amely az élőlények létezésének alapfeltétele. DÍAZ NAFRIA 2010: 91. Szigeti szerint önfenntartásra törekvés, ami megjelenik Luhman társadalmiautopoieszis-elméletében is. SZIGETI 2021: 7.

²⁹ KRAKAUER 2019: 69.

³⁰ PAKSI 2021: 53.

³¹ ESTRADA 2023: 1.

³² FLORIDI 2013: 31.

³³ STODOLA 2019: 73.

Komplexitás a szakirodalomban

A szisztematikus szakirodalmi tájékozódást a Santa Fe Intézet *Mi a komplex rendszerek tudománya?* című weblapjáról³⁴ indulva érdemes elkezdni. Az intézet 1989-es tudományos munkáját gyűjtötte össze két kötetben Wojciech H. Zurek.³⁵

Az információtudomány kialakulását előkészítő meghatározó jelentőségű, 1922 és 2000 között megjelent korai írások négykötetes gyűjteményét Krakauer állította össze.³⁶

A magyar szakirodalomban a könyvek közül a téma szempontjából figyelemre méltó a komplex rendszerek elemzéséről szóló Kindler–Papp,³⁷ a skálafüggetlen hálózatokkal foglalkozó Barabási-,³⁸ a kiszámíthatóság kérdéseit vizsgáló Barabási-,³⁹ továbbá a káosz kérdésével foglalkozó *Matematika világa (A pillangó és a tornádó: Káoszelmélet és az éghajlatváltozás 2020)* című Mérő-,⁴⁰ valamint az interdiszciplináris természet- és társadalomtudományi elemzést végző Szigeti–Ungvári-mű.⁴¹

A magyar hadtudományi irodalomban a komplexitás és a hadtudomány kapcsolatát önálló tanulmánykötetben dolgozták fel,⁴² azonban itt sem került sor magának a komplexitás jelenségének vizsgálatára. A *Honvédségi Szemlében* Porkoláb Imre a komplex műveleti környezet és a szervezetfejlesztés kapcsolatával foglalkozó műve,⁴³ illetve a katonai vezetéssel foglalkozó cikke⁴⁴ tér ki rövid összefoglalásban a komplexitás általános kérdéseire. A *Hadtudomány* folyóiratnál egy, szintén a vezetési kultúrával foglalkozó,⁴⁵ a *Műszaki Katonai Közönyben* pedig 38 hasonlóan irreleváns szövegtalálalatot lehetett fellelni.

Az idegen nyelvű szakirodalomban, elsősorban angol nyelven bőséges választék áll rendelkezésre. A témával kapcsolatban figyelemre méltó áttekintő jellegű műveket jelentetett meg: a komplexitástudománnyal és a káosszal foglalkozó

³⁴ Santa Fe Institute 2019.

³⁵ ZUREK 2023.

³⁶ KRAKAUER 2024b.

³⁷ KINDLER–PAPP 1977.

³⁸ BARABÁSI 2003.

³⁹ BARABÁSI 2010.

⁴⁰ MÉRŐ 2014.

⁴¹ SZIGETI–UNGVÁRI ZRÍNYI 2021.

⁴² KRAJNC–CSENGERI 2016.

⁴³ PORKOLÁB 2017a.

⁴⁴ PORKOLÁB 2017b.

⁴⁵ SZÜCS 2021.

Waldrop,⁴⁶ a kaosz jelenségét bemutató Smith⁴⁷ és Gleick,⁴⁸ továbbá a komplexitás jelenségét példákkal illusztráló és összefoglaló Mitchell,⁴⁹ illetve a tömör összefoglalást végző Holland,⁵⁰ a komplexitás üzleti, természet- és társadalomtudományi szempontjait vizsgáló Miller,⁵¹ a számítási modellek komplexitására fókuszáló Downey,⁵² a komplexitás általános törvényszerűségeit előtérbe helyező West,⁵³ valamint a komplexitás és az evolúció jelenségét feldolgozó Krakauer.⁵⁴

Részletesebb, technikai kérdéseket tár fel: Nicolis és Prigogine,⁵⁵ aki a nem egyensúlyi és a nemlineáris dinamikus rendszerekkel foglalkozik, Palmer,⁵⁶ aki a fizikai rendszerek előrejelezhetőségét vizsgálja, Strogatz,⁵⁷ aki tágabb természet-tudományi nézőpontot használ, és a fizikán túl a biológia, a kémia és a mérnöki tudományok szempontjából is vizsgálja a komplexitást. Newman⁵⁸ a hálózatok kérdéseit, a Turner, Hanel és Klimek⁵⁹ szerzőhármas pedig a hálózatokon túl azoknak a skálázás szabályaival, az evolúcióval, az információteóriával és a statisztikának a komplexitásteóriával kapcsolatos mélyebb összefüggéseit vizsgálja. Boccara⁶⁰ a komplex rendszerek modellezésével foglalkozik.

A kaotikus működéssel kapcsolatban lényeges megemlíteni Gleick⁶¹ kiszámíthatósággal, valamint Cafaro⁶² matematikai képletekkel kissé túlterhelt, a kaosz információgeometriájával foglalkozó könyvét.

Az alkalmazott komplexitás témáját feldolgozó néhány jellemző szerző és mű: Malik,⁶³ aki a kibernetikai felfogást képviseli, Eisner,⁶⁴ aki a komplex rendszerek

⁴⁶ WALDROP 1992.

⁴⁷ SMITH 2007.

⁴⁸ GLEICK 2008.

⁴⁹ MITCHELL 2009.

⁵⁰ HOLLAND 2014.

⁵¹ MILLER 2016.

⁵² DOWNEY 2018.

⁵³ WEST 2018.

⁵⁴ KRAKAUER 2019.

⁵⁵ NICOLIS–PRIGOGINE 1989.

⁵⁶ PALMER 2022.

⁵⁷ STROGATZ 2000.

⁵⁸ NEWMAN 2010.

⁵⁹ THURNER–HANEL–KLIMEK 2018.

⁶⁰ BOCCARA 2010.

⁶¹ GLEICK 1987.

⁶² CAFARO 2008.

⁶³ MALIK 2016.

⁶⁴ EISNER 2005.

menedzsmentjénél a bátor gondolkodást serkenti, a Teisman, Buuren és Gerrits⁶⁵ szerzőhármás, akik a szervezeti fejlődés szempontját helyezik fókuszba. A Project Management Institute⁶⁶ által kiadott gyakorlati útmutató a komplex projektek és programok menedzsmentjében segít. Liu és munkatársai⁶⁷ könyve pedig a komplex rendszerek információ- és tudásmenedzsmentjével foglalkozik.

Külön kategóriában soroljuk fel a Cynefin-keretrendszer⁶⁸ leíró könyveket: Brougham⁶⁹ bemutató jellegű füzetkönyve, Postma⁷⁰ „gyorstalpaló” füzete és az alapötletet kidolgozó, Greenberg és Bertsch⁷¹ által publikált részletező könyv megfelelő alapot biztosít a keretrendszer megismerésére.

A komplex rendszereknek a téma szempontjából releváns jellemzői

Jelen kutatás az információmenedzsment kapcsán vizsgálja a komplexitás jelenségét, ezért a kutatást a menedzsmenttevékenységek során számba vehető elméletekre és az azokból következő jellemzőkre kell szűkítenünk.

A komplex rendszereket leíró jellemzők Losoncz-féle listája megfelel a Downey által bemutatott, egyszerű holisztikus modell⁷² követelményeinek,⁷³ mivel a komplex rendszer megfigyelt viselkedési mintázatainak felsorolását tartalmazza. Amennyiben a listát redukálni tudjuk a menedzsment tárgyát képező komplex rendszerekre jellemző tulajdonságokra, úgy annak segítségével igazolhatjuk az információmenedzsment tárgyának komplexitását.

⁶⁵ TEISMAN – VAN BUUREN – GERRITS 2009.

⁶⁶ Project Management Institute 2014.

⁶⁷ LIU et al. 2015.

⁶⁸ *Cynefin*: összetett jelentésű walesi szó, élőhely, törzshely, ismert, ismerős jelentéstartalommal (kiejtése magyar helyesírással: „küneeivin” hangsúllyal a középső „e” hangon).

⁶⁹ BROUGHAM 2015.

⁷⁰ POSTMA 2023.

⁷¹ GREENBERG–BERTSCH 2021.

⁷² Holisztikus modell: megfigyelik a különböző rendszerekben jelentkező hasonló viselkedési mintázatokat, beazonosítják a modellhez szükséges olyan elemeket, amelyek képesek a megfigyelt viselkedési formák reprodukálására.

⁷³ DOWNEY 2018: 112.

Malik megnevezi az általa a komplex rendszerek menedzsmentjére alkalmazott koncepciókat, ez a spontán rend elmélete;⁷⁴ az élő rendszerek működési elve⁷⁵ és modellje; a rekurzió elve;⁷⁶ valamint az autonómia elve. Megemlítendő még a teljes információ hiánya mint fontos jelenség. Ezek közül kettő közvetlenül párosítható a Losoncz-féle listában szereplő két tulajdonsággal. A „teljes információ hiánya” megfeleltethető a „soha nem teljes rendszerezettség” tulajdonságnak, a „rekurzió” pedig az „önhasonlóság” tulajdonságnak.

Krakauer a komplexitás témakörét összefoglaló művének az elméleteket rendszerező részében⁷⁷ Malik leírása és az irodalmi hivatkozások alapján a két szerző eltérő terminológiahasználata ellenére is összepárosítható három Malik által felsorolt és az összefoglaló műben is szereplő koncepció. A „spontán rend elmélete” párosítható az „önszerveződés”,⁷⁸ az „autonómia elve” párosítható a „környezet modellezése”,⁷⁹ az „élő rendszerek működési elve” párosítható az „élő rendszerek elmélete”⁸⁰ kifejezéssel.

Krakauer összefoglaló művének ez a része⁸¹ a koncepciók egymásra épülésének logikáját is tartalmazza, így könnyen azonosítható további hét elmélet, amely a megtalált három koncepcióra épül. Az összes megtalált koncepció elemzését követően és az előzőekben megtalált két tulajdonság figyelembevétel az alábbi megállapításra juthatunk: a Losoncz által összegyűjtött, komplex rendszerek leírását felsoroló általános jellegű 13 elemű listából meglepő módon egy⁸² kivételével a menedzsmenttevékenység tárgyát képező komplex rendszerekre nézve minden egyéb tulajdonság relevánsnak tekinthető.

⁷⁴ A spontán rend elmélete (*theory of spontaneous order*): középpontjában a szociális és kulturális szerkezetek spontán kialakulása áll. MALIK 2016: 72–73.

⁷⁵ Az élő rendszerek működési elve: az eredeti angol nyelvű kifejezés (*viability*) életképességet (inkább túlélőképességet) jelent, de a szöveg tartalma az élő rendszerek (az élethez szükséges) jellemzőit írja le.

⁷⁶ Rekurzió: általában a rendszer struktúrájában önismerő felépítés minden szinten. MALIK 2016: 128.

⁷⁷ KRAKAUER 2024: 40–47.

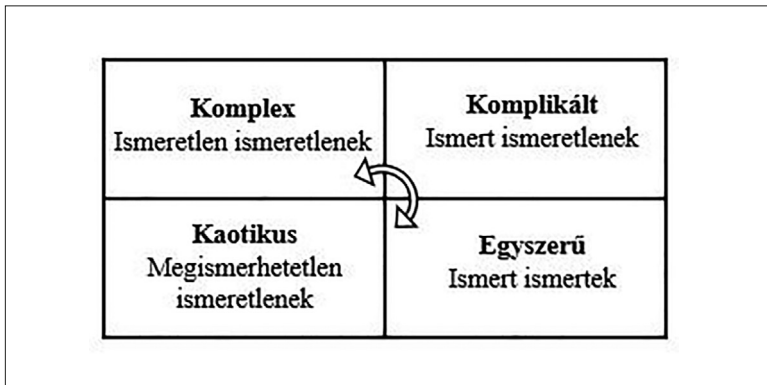
⁷⁸ Önszerveződés, Krakauernél: *Self-organization* vagy szinergikus (*Synergetic*) *Self-Organization*. KRAKAUER 2024: 44.

⁷⁹ A környezet modellezése, Krakauernél: jó szabályzók (*good regulations*). KRAKAUER 2024: 43.

⁸⁰ Az élő rendszerek elmélete, Krakauernél az élő rendszerek elmélete (*Living Systems Theory*) vagy más néven a viselkedéstudomány általános elmélete (*General Theory of Behavioral Science*). KRAKAUER 2024: 42.

⁸¹ KRAKAUER 2014: 40–47.

⁸² Autopoieszis.



8.1. ábra. Rendszerek Cynefin-keretrendszer szerinti osztályozása

Forrás: a szerzők szerkesztése

A fentiekből következően, amennyiben az információmenedzsment tárgyát képező információ működését meghatározó rendszerben fellelhetők az alábbi jellemzők: a rendszer nyíltsága,⁸³ középpontnélküliség,⁸⁴ emergencia,⁸⁵ nemlineáris interakciók,⁸⁶ visszacsatolások,⁸⁷ instabilitás,⁸⁸ soha nem teljes rendszerezettség;⁸⁹ hisztérézis;⁹⁰ ön hasonlóság;⁹¹ önszerveződés;⁹² egész és a részek kölcsönhatása;⁹³ attraktorok jelenléte;⁹⁴ úgy a komplexitás igazoltnak tekinthető.

Jóval egyszerűbb, a megismerhetőség alapján létrehozott gyakorlatias fogalmakat használ a Cynefin-keretrendszer. Ahol a bizonytalanság azt jelenti, hogy

⁸³ Igazolja Krakauernél a nyílt rendszerek elmélete (*Open Systems*). KRAKAUER 2024: 42.

⁸⁴ Igazolja Krakauernél a piacok (*markets*) vagy más néven a tudás használata a társadalomban elmélete. KRAKAUER 2024: 41.

⁸⁵ Megegyezik Krakauernél az *emergence*-elmélettel. KRAKAUER 2024: 43.

⁸⁶ Krakauernél a beazonosított szinergikus önszerveződés jelenségének, azon belül a nem egyensúlyi kollektív dinamikának az egyik tényezője. KRAKAUER 2024: 44.

⁸⁷ Krakauernél a viselkedés, a célra irányultság és a teleológia elméletének részét képező megerősítő visszacsatolások része. KRAKAUER 2024: 40.

⁸⁸ Krakauernél a beazonosított szinergikus önszerveződés jelenségének, azon belül a nem egyensúlyi kollektív dinamikának az egyik tényezője. KRAKAUER 2024: 44.

⁸⁹ Azonosítható Malik „soha nem teljes rendszerezettség” tulajdonságával.

⁹⁰ A Krakauernél meglévő „adaptív rendszerek” elvének egyik jellemzője. KRAKAUER 2024: 43.

⁹¹ Azonosítható Malik „rekurzivitás” tulajdonságával.

⁹² A Krakauernél meglévő *Self-Organization* elvével azonos. KRAKAUER 2024: 44.

⁹³ Krakauernél a jó szabályzók (*good regulations*) részét képezi. KRAKAUER 2024: 43.

⁹⁴ A Krakauernél meglévő „adaptív rendszerek” elvének egyik jellemzője. KRAKAUER 2024: 43.

még nincs megállapítva, hogy adott rendszer mely kategóriába tartozik. A rendszer *egyszerű*, ha az ok-okozati összefüggések ismertek. A *komplikált* rendszer az ismert ismeretlenek világa. A rendszer *komplexitása* esetén ismeretlen ismeretlenek jelennek meg. Végül a *kaotikus* rendszer a megismerhetetlen ismeretlenek világa.⁹⁵

Az információmenedzsment tárgyának komplexitása, sajátosságai

Az információmenedzsment, korábban információgazdálkodás a 70-es években kialakuló gyakorlati tevékenység, amelynek célja menedzsmentmódszerekkel a szervezetek számára optimális információs környezet kialakítása. Tudományos elméleti alapját az információtudomány biztosítja.⁹⁶

Az információmenedzsment célja, hogy a szervezeti célokkal összhangban az információ térben, időben és minőségben hasznosan legyen elrendezve, azaz a megfelelő információ a megfelelő időben a megfelelő felhasználó számára rendelkezésre álljon. Tehát az információmenedzsment tárgya általában az információ működésének rendszere, amelyet sajátos folyamatban, az információ életciklusában az annak fázisait alkotó tevékenységek szabályozása által befolyásol.

A katonai információmenedzsment az általános információmenedzsment speciális, katonai környezetre alkalmazott változata. Lényeges, hogy a katonai információ jelen lehet a katonai szervezet tagjainak tudatában, illetve valamely fizikai hordozón, rögzített értelmezhető jelrendszerben ábrázolt formában. Az információnak a kezelhetőség érdekében rendelkeznie kell megnevezéssel, amely önmagára vonatkozó információ, és a felhasználás során azonosíthatóvá teszi, illetve a megfelelő értelmezéshez szükséges tudáselemeket is azonosítja.

A fenti követelmények alapján a katonai információfogalom szemantikus⁹⁷ információdefiníciója a következő: *a katonai információ a katonai tevékenységek szempontjából jelentőséggel bíró tények, elképzelések, utasítások azonosítható jelentéstartalma.*

A komplexitásvizsgálat megkezdéséhez fel kell oldanunk egy ellentmondásosnak tűnő kérdést. A komplex rendszerek megállapított jellemzője a

⁹⁵ TURNER–THURLOW 2023: 325.

⁹⁶ STODOLA 2019: 89.

⁹⁷ Szemantika: jelentéstartalommal foglalkozó interdiszciplináris tudományág, az információ szintaktikai, szemantikai, pragmatikai és egyéb dimenzióival kapcsolatban lásd a dimenzionális megközelítést! DÍAZ NAFRÍA 2010: 84–87.

középpontnélküliség és az önszerveződés. Az információmenedzsment pedig feltételezi valamilyen szabályozó szervezet meglétét. A komplexitás nem zárja ki a központi irányítást, sőt Losoncz szerint „[a] komplex rendszerben a részek mindig közreműködnek a központ tehermentesítésében”.⁹⁸

A továbbiakban vizsgáljuk meg, hogy a behatárolt viselkedési módoknak mennyiben felel meg a katonai szervezetnél jelen lévő információ működésének rendszere!

A *rendszer nyíltsága* igazolható, mivel a katonai szervezetek a környezetből kapnak és továbbítanak információt, sőt egyes katonai szervezetek kifejezetten az információ begyűjtésére vagy biztosításának céljából lettek létrehozva. A külső kapcsolatok a különböző elektronikus levelező rendszerek környezetre való nyitottságával a szervezeti tagok részére egyénileg is biztosítják az információcserét.

A *középpontnélküliség* a már a fentiekben bemutatott módon kombinálódik a központi irányítással. A katonai szervezeteknél is létrejönnek informális szervezetek,⁹⁹ ahol informális információáramlás¹⁰⁰ indul meg. Az informális csoportok létrejötte az *önszerveződés* jelenségét is igazolja.

Az *emergencia* jelenségét a Project Management Institute kiadványa a komplexitás három oka¹⁰¹ között a félreérthetőség csoportjába sorolja.¹⁰² A megfogalmazás szerint az emergencia a szervezetek értelmezésében előrejelzés nélkül, a program vagy a projektek vonatkozásában (katonai értelmezésben a tények, elképzelések és utasítások által meghatározott működésben) spontán létrejövő hirtelen változást jelent, amelyet az előre nem látható szituációk és a feladatok keresztkapcsolatai hoznak létre.

A *nemlineáris interakciók* természetesen következnek az információ szervezetben lejátszódó terjedési tulajdonságaiból. Egy 2023. évre vonatkozó statisztika alapján a vezérkarnál működő dokumentumkezelő rendszerben egy dokumentumot átlagosan 19,55 példányban küldenek tovább, továbbá a keletkező dokumentumok 30%-ából keletkezik új dokumentum. Ebből következően megfigyelhető az információmennyiség folyamatos egymásra halmozódásból adódó nemlineáris természetű mennyiségnövekedése.

A *visszacsatolás* az információval végzett munka alapvető jelensége. Az információ előállításánál több visszacsatolási hurok jön létre, amelyeket a különböző szervezeti szintek egymásra épülő redundáns jóváhagyási mechanizmusa hoz létre.

⁹⁸ LOSONCZ 2003: 126.

⁹⁹ DOBÁK 2016.

¹⁰⁰ DOBÁK 2016.

¹⁰¹ Az emberi viselkedés, a rendszer működése és a félreérthetőség.

¹⁰² Project Management Institute 2014: 15.

Az *instabilitás* a szervezetek jellemző tulajdonsága, amelyet makroszinten a szervezeti fluktuáció, a szervezetfejlesztésből adódó szervezeti változások, mikroszinten a munkaerő rendelkezésre állásának napi szintű változása hoz létre, ami hatással van az információfeldolgozás körülményeire.

A *soha nem teljes rendszerezettség* egyrészt az előbb említett instabilitás következménye, illetve az információfeldolgozást támogató rendszerek adott időközönkénti frissítési sebességének és a valós folyamatok sebességének arányából következik. Minél instabilabb a szervezet és minél lassabb a feldolgozás frissítése a valós változásokhoz képest, a rendszerezettség annál kevésbé teljes. Ebből következőleg soha nem áll teljes körű információ rendelkezésre.

A *hiszterézist*, a tények, elképzelések, utasítások történetiségét a kezelése során a személyek és a szervezetek emlékezete, illetve az információkezelő eszközök által biztosított naplók szavatolják. A történetiségnek van magasabb formája is, amikor az egyes információk kapcsán a keletkezés körülményeire és a feldolgozás során előforduló viszonyokra vonatkozó tények rögzülnek, ami hatással lehet a következő információs folyamat indítására.

Az *önhasonlóságot* vagy rekurziót az alá- és fölérendelt szervezetek törzs- és végrehajtó struktúráinak különböző szinteken létrejövő ismétlődése, illetve az információ kezelése során szervezeti szintenként ismétlődő előállítási és feldolgozási mintázatok hozzák létre. Az információnak magának is van önismétlésre alkalmas tulajdonsága: az információ azonosítása, amely olyan információ, amely vonatkozhat egy másik információra vonatkozó információra, és így tovább.

Az *önszerveződést* az informális csoportok létrejötténél már említettük. A Project Management Institute kiadványában a komplexitás okai között az emberi csoportviselkedés egy formája,¹⁰³ amelyet természetes emberi jelenségnek tekint.

Az *egész és a részek kölcsönhatása* az információ esetében az adaptív működés egyik következménye, amely összefügg a hiszterézisnél említett tartalomra és körülményekre vonatkozó emlékezettel. Ha az információval kapcsolatban az egészre (szervezetre vagy feldolgozó rendszerre) vonatkozólag egy viselkedési forma valamilyen alacsony hatékonysági értéket kap, akkor a következő hasonló esetben más viselkedési formát választanak, ha ugyanez a viselkedési forma pozitív megerősítést kap, akkor megerősödik, végül rögzül.

Az *attraktor* a komplex rendszer viselkedését meghatározó külső vonzerőt fejezi ki. Működését az elemek viselkedésének tendenciáját elemezve figyelhetjük meg. Az információ esetében az attraktorok több szinten keletkeznek, és hatnak. Attraktorként működik egy külső szervezet információigénye, amely befolyásolja

¹⁰³ Project Management Institute 2014: 20–21.

saját információ-előállításunk ütemét és mennyiségét. A tartalomra vonatkozó elvárás is attraktorként jelentkezik a jelentéstartalomra nézve. Az attraktorok felé törekvés energiafelhasználással jár.

Az információmenedzsment tárgyat képező információ működési rendszere *dinamikus*, amit a fentiekben vizsgált emergencia, visszacsatolás, instabilitás és önszerveződés jelensége igazol. Továbbá *determinisztikus*. Habár az információ kapcsán a bizonytalanság elosztatására a *valószínűség* kifejezést gyakran alkalmazzuk, azonban az információ mozgása legalább két ellentétes irányú rendezőelv mentén meghatározott. Az információmegosztási kényszer (jelentési kötelezettség), valamint a „szükséges, hogy tudja” elv (betekintési jogosultságok) aktuális állapota egyértelműen meghatározza a következő időlépésben bekövetkező állapotot.

Összefoglalva az információmenedzsment tárgyának jellemzői a komplex rendszerek menedzsmentjére jellemző összes tulajdonságnak rendre megfelelnek, így a komplexitás igazoltnak tekinthető. Az információ működési rendszere dinamikus és determinisztikus, továbbá nemlineáris természetű.

A komplexitás hatása az információmenedzsment fejlesztési irányaira

Az információmenedzsment fejlesztésének alapjai és komplexitásból fakadó korlátai

Egy rendszer fejlesztése négy¹⁰⁴ egymással összefüggő tényező¹⁰⁵ mentén valósulhat meg: a rendszer által alkalmazott *eszközök*, *eljárások*, a *szervezeti felépítés* és a *személyek*. Mivel minden tényező kapcsolódik minden más tényezőhöz, a bármelyikre vonatkozó változtatás vagy korlátozás kihat az összes többi felépítésére is. Amennyiben valamely tényező változtatása elmarad, a rendszer *kontrollálhatósága* hiányt szenved, mivel a változtatás nem teljes körű, azaz az új képesség nem lesz képes a rendszer működésére teljes mértékben hatást gyakorolni.

¹⁰⁴ A négy tényező a rendszer modelljéből következik: a szervezet, a személyek és az eszközökből és eljárásokból álló technológia. CSANÁDI 2017: 157–158.

¹⁰⁵ A katonai képességfejlesztés DOTMLPFI (*Doctrine, Organization, Training, Materiel, Leadership, Personnel, Facilities, Interoperability*) keretrendszerének elemei is visszaegyszerűsíthetők a szervezet, a személy, az eljárás és az eszköz kategóriára a következőképpen: szervezet: *Organization*; személy: *Personnel, Training, Leadership*; eljárás: *Doctrine, Interoperability*; eszköz: *Materiel, Facilities*.

Az első fontos fejlesztési kérdés a menedzsmentet meghatározó szabályozás centralizáltsága. A túlzott központosítás a komplex rendszerek tulajdonságai okán elméletileg sem lesz képes a teljes rendszert hatékonyan átlátni és szabályozni, így magára hagyott perifériák jöhetnek létre. A túlságosan decentralizált szabályozás viszont versengő és konkuráló szigeteket, illetve szükségtelen mértékű redundanciát hoz létre.¹⁰⁶

A fejlesztési lehetőségek második csoportjába az információmenedzsment tevékenységei tartoznak, amelyek a következők: tervezés; gyűjtés, alkotás vagy generálás; szervezés; visszakeresés, használat, hozzáférhetőség és továbbítás; tárolás és védelem; diszpozíció. Fontos, hogy a szervezés, tárolás és védelem és a diszpozíció tevékenység a személyek tudatában tárolt információra vonatkozóan nem értelmezhető, mivel kizárólag kognitív folyamatok határozzák meg. Mivel a belső információk közvetlen befolyásolására nem áll rendelkezésre eszköz, ezért indirekt módszereket kell alkalmazni, ami leginkább az adathordozók és a személyek viszonyát befolyásoló rendszabályok kifejlesztését és betartatását jelenti. A fizikai adathordozókra kiírt információk az adathordozó rendszerek működésének befolyásolásával manipulálhatók. Ez a követelmény rámutat a felhasználói hozzáférés-szabályozás jelentőségére.

A harmadik csoportot az információmenedzsment érzékelő képességének fejlesztési lehetőségei alkotják. Ez a menedzsmentet végző személyek által meghozott szabályozó intézkedések hatásosságára és a vezetők, illetve a szervezet tagjai által megfogalmazott visszajelzésekre és a követelmények vonatkozó vételi képességére fókuszál. A fejlesztés elsősorban az új visszajelzési mechanizmusok kifejlesztésével valósítható meg. A fejlesztés lehetősége ezen a területen is kettős, egyrészt normatív szabályozással, másrészt konkrét informatikai eszközök alkalmazásával lehetséges.

A negyedik fejleszthető csoportot a menedzsment hatáskifejtését biztosító képességek alkotják. Ezek közül a legerősebb a menedzsment által megalkotott szabályok kötelező jellege. A hatékonyságot a rendszabályok betartása kikényszerítési képességének javításával lehet fejleszteni. Fontos, hogy az információmenedzsment legyen képes a működés rendjébe a szervezetfejlesztés eszközeivel beavatkozni. Az információmenedzsmentet informatikai eszközök szolgálják ki. Léteznek önálló információmenedzsment támogatására létrehozott szoftverek, de alapvetően az információmenedzsment által hozott rendszabályokat az összes informatikai rendszerben érvényesíteni kell. Leginkább a hozzáférések szabályozásának, vagyis a felhasználói csoportok és jogosultságaik létrehozásának kell átgondoltnak lennie.

¹⁰⁶ SZIGETI 2001: 125–126.

A Cynefin-felosztás szerint a 8.1. ábrán látható rendszerek összetettségétől függő négy fajtáját a függőleges tengely mentén két részre oszthatjuk.¹⁰⁷ A jobb oldalon elhelyezkedő *egyszerű* és *bonyolult* rendszereknél az ok-okozati összefüggések tapasztalatból vagy szakértők által megállapíthatók. A jelenségeknek ebbe a két típusba sorolható részét nevezi Mérő szellemesen *Átlagisztánnak*. Az egyszerű rendszereknél ismert összefüggések mentén érthető és kategorizálható módon működik a rendszer. A jövőbeli állapotok előrejelezhetők. A Cynefin-keretrendszer szerinti ajánlott cselekvési sorrend: a rendszer működési jellemzőinek *érzékelése*, a lehetséges válasz ismert kategóriából történő *kiválasztása* és a rendszerre ható *válaszadás*. A bonyolult rendszerek összefüggéseinek megállapításához szakértői *analízis* szükséges. A Cynefin-keretrendszer szerint az *érzékelést* és az *analízist* követően történik meg a *válaszadás*. Malik a komplex rendszerek menedzsmentje kapcsán felhívja a figyelmet a gépek logikájára¹⁰⁸ épített, általa *konstruktivista technomorfizmusnak* nevezett megközelítés korlátaira, amely a menedzsment módszereit arra építi, hogy a menedzser a jelenlegi állapotra, a jövő állapotra, illetve a szükséges beavatkozás eszközeire nézve rendelkezik a teljes információval. Ezt a megközelítést csak a fent felsorolt, előrejelezhető (átlagisztáni) problémák esetén célszerű alkalmazni.

A Mérő által *Extrémisztánnak* nevezett¹⁰⁹ komplex és kaotikus rendszerek a 8.1. ábra bal oldali részén találhatók, ahol az okok és az okozatok nem világosak, legfeljebb visszakövetkeztetés vagy próbálgatások útján tárhatók fel. A komplex rendszerek esetén az okokat az okozatokból visszavezetve lehet megállapítani. A Cynefin-keretrendszer ezért a komplex rendszerek esetén a *próba–érzékelés–válaszadás* cselekvési sorrendet javasolja. A kaotikus rendszerek esetén az ok és az okozat összefüggése megismerhetetlen. A Cynefin-keretrendszer javaslata szerint kaotikus rendszereknél a *cselekvés–érzékelés–válaszadás* tevékenységi sorrendet célszerű követni. Malik a komplex és kaotikus rendszerek menedzsmentjére a konstruktivista felfogással szemben a *rendszerevolúciós* megközelítést javasolja, amelynek lényege a rendszerek kapcsolatára történő koncentráció, és alapja, hogy elfogadjuk, hogy a jelenlegi és jövőbeli állapotokról soha nem áll teljes körű információ rendelkezésre. A rendszert nem gépezetként, hanem inkább

¹⁰⁷ BROUGHAM 2015: 7.

¹⁰⁸ Malik szerint a gép metaforája kifejezi, hogy a szerkezetet megalkotó konstruktőrnek előre kell ismernie a követelményeket, és azok alapján pontosan meg kell határozni minden alkatrész felépítését és működését, tehát a működésre és a várható kihívásokra nézve teljes információval kell rendelkeznie. MALIK 2016: 71.

¹⁰⁹ MÉRŐ 2014: 44.

élőlényként kell modellezni és kibernetikai elvek mentén kell menedzselni. A fókusz nem a hatékonyságon, hanem a kontrollálhatóságon van, valamint előnyben kell részesíteni az indirekt módszerek alkalmazását.¹¹⁰ Mérő az általa Exrtémisztánnak nevezett, komplex és kaotikus rendszerek esetén két képesség kialakítását tekinti fontosnak. Elsőként az *antifragilitás* képességének kialakítását, amely a törekenység ellentéte. Nem a töréssel szembeni ellenállóságot jelenti, hanem azt a képességet, amely a törést okozó durva hatásokból való profitálást jelenti.¹¹¹ Másodikként Mérő a konvertálható tudás meglétének fontosságát hangsúlyozza, amely az új körülmények között is használható általános értékű tudás és egyben eszközök felhalmozását jelenti.

Összefoglalva négy lehetséges fejlesztési területet lehetett azonosítani, ahol a képességet növelő szabályok fejlesztésével és konkrét informatikai eszközök támogatásával lehet fejlődést elérni. A rendszabályok egyik fontos célja a hozzáférés szabályozása, a másik pedig a rendszer visszajelzéseinek fejlesztése. Lényeges eltérés van az egyszerű és a bonyolult, illetve a komplex és a kaotikus rendszerek menedzsmentjének céljai és lehetőségei között. A rendszerben végrehajtott változtatásnak teljes körűnek kell lennie, amely kiterjed az összefüggésben álló eszközökre, eljárásokra, a szervezeti felépítésre és a személyekre. A fejlesztésnek a kontrollálhatóság növelésére, a durva behatásokból következő tapasztalatok gyors beépítésére és az ismeretlen helyzetekben is alkalmazható konvertálható tudásra kell törekednie.

A komplexitásból fakadó fejlesztési irányok, feladatok

A komplex rendszerek menedzsmenttevékenységeinek fejlesztése során abból kell kiindulni, hogy sem a tervezés, sem a tevékenységek, sem azok kontrollja során nem fog teljes információ rendelkezésre állni,¹¹² ebből következőleg új, a rendszer felépítését változtatató információk, követelmények megjelenésével kell számolni. A szervezet, az ember, az eljárás és az eszközök bármelyikének változtatása vagy korlátainak megléte maga után vonja az összes többi változtatásának igényét. Ennek megfelelően a menedzsment módszereiben és eszközeinek működésében fel kell készülni a következő változtatásokra.

¹¹⁰ MALIK 2016: 69–102.

¹¹¹ MÉRŐ 2014: 262.

¹¹² MALIK 2016: 96–99.

Az optimalizációra törekvés helyett a kontrollálhatóságra kell a fókuszot helyezni.¹¹³ Ez a katonai információmenedzsment vonatkozásában azt jelenti, hogy általánosan arra kell törekedni, hogy a tervezési folyamatok legyenek képesek kisebb, de az összes tényező (szervezet, ember, eszköz, eljárás) egyidejű változtatásainak gyors előkészítésére. A technikai eszközök vonatkozásában a változtatásoknak biztonságosan és gyorsan végrehajthatónak kell lennie. Ennek érdekében törekedni kell rá, hogy rendelkezésre álljon tesztrendszer, ahol a változtatásokat a működés kockáztatása nélkül ki lehet próbálni. A rendszerek tervezése, beszerzése és üzemeltetése során fontos szempontként kell figyelembe venni, hogy a rendszer legyen képes elviselni a gyakori változtatásokat. Amennyiben ez a szempont nem érvényesíthető, meg kell erősíteni az archiválóképességet, amivel a kipróbált változtatás sikertelenség esetén könnyen visszaállítható eredeti állapotába. Az információs folyamatok tervezésekor érvényesíteni kell azt az alapelvet, hogy bizonyos jogkörök könnyen delegálhatók legyenek, így a helyettesítés, pótlás kezelhető legyen. Törekedni kell továbbá a moduláris beszerzés és fejlesztés lehetőségére.

A szakutadást elsősorban a rendszer céljainak és a célokat kiszolgáló részelemek kapcsolatainak megismerésére kell koncentrálni. A rendszerhez külső forrásból beszerzett modulok *integrációját*¹¹⁴ és *adaptációját*¹¹⁵ a lehető legnagyobb mértékben saját kézben kell tartani, ezzel biztosíthatóvá válik a jövőbeli változtatások érdekében a *konvertálható tudás* létrehozása. Amennyiben az integrált szoftver beszerzése elkerülhetetlen, legalább az adaptációt saját szakemberekkel kell elvégeztetni, és a tapasztalatokat rögzíteni kell.

Végül meg kell vizsgálnunk a kaotikus állapot kialakulása lehetőségének izgalmas kérdését és az abból adódó fejlesztési követelményeket. A kaotikus állapot kialakulásának megvannak az előfeltételei, mivel a katonai tevékenységek szempontjából jelentőséggel bíró tények, elképzelések, utasítások azonosítható jelentéstartalmának (katonai információ) működési rendszere komplex, dinamikus, determinisztikus természetű, ahol nemlineáris kapcsolatok jönnek létre. Mivel kaotikus működés esetén az ok-okozati összefüggések nem ismerhetők meg, a hangsúlyt elsősorban a Magyar Honvédségre vagy részeire kiható esetleges negatív következmények elhárítására kell helyezni. Ez esetben a cselekvés haladéktalan megkezdésére. A helyzet kezelésének ajánlott technikája a

¹¹³ MALIK 2016: 93–96.

¹¹⁴ Integráció: a meglévő elemekhez való optimális kapcsolódás elérése.

¹¹⁵ Adaptáció: a saját működési logika és egyéb sajátos követelményrendszer érvényre juttatása.

cselekvés–érzékelés–válaszadás logikája. Technikai szinten a párhuzamosságok kiépítése javasolt.¹¹⁶ A katonai információmenedzsmenten értelmzett antifragilitás képessége abból áll, hogy a rendszert ért durva hatások tapasztalatai gyorsan beépíthetők legyenek az információmenedzsment gyors változtatása során. Ekkor figyelembe kell venni, hogy a szervezet, a személyek, az eszközök és az eljárások vonatkozásában összhang legyen, amely elősegíti a kontrollálhatóságot, tehát gyors kis lépésekben is haladó tervezési képességet kell kialakítani, amit reprezentálhat szervezet, ideiglenes szervezet és a hozzá tartozó eljárások és eszközök rendszere.

Ebből következőleg a katonai információmenedzsmentre nézve a komplexitásnak az a legfontosabb kihatása, hogy úgy kell felkészíteni, hogy előre nem várt fejlesztési irányokhoz és követelményekhez a rendszer felépítéséből és rugalmas tervezési folyamataiból következőleg könnyedén tudjon alkalmazkodni. Ehhez elsősorban a kontrollálhatóságra, a kapcsolatrendszerek ismeretére kell koncentrálni. A változtatásokból következő integráció és adaptáció tevékenységét a lehető legnagyobb mértékben a Magyar Honvédség saját szervezetében kell megvalósítani.

Összegzés, következtetések

A komplexitás mint kifejezés a bonyolultság mértékének kifejezésére szolgál. Azonban maga a komplexitás is bonyolult jelenség. Az elméleti alapok megismerése után igazoltuk az információmenedzsment tárgyat képező információ működési rendszerének komplexitását.

A komplexitás jelenléte az információ működési rendszerében következményekkel jár, elsősorban az információmenedzsment koncepciójára és képességeire nézve. Az elsődleges követelmény, hogy a menedzsmentnek az optimalizálás helyett a kontrollálás képességének erősítését kell célul kitűznie. A javasolt technikai és eljárásbeli változtatások is erre irányulnak. El kell fogadni a tényt, hogy a komplex környezetben soha nem áll teljes információ rendelkezésre a jelenlegi állapotról, és a várható jövőbeli állapotokról sem. Előfordulhatnak olyan hibák, amelyek előrejelezhetetlenek, és a kiváltó okok is nehezen határolhatók be.

Az információ katonai szervezeteken belüli működésének komplex rendszerében a kaotikus állapot kialakulása sem zárható ki. Az információ működési rendszere dinamikus és nemlineáris kapcsolatokon alapul, ami a kaotikus működés előfeltétele.

¹¹⁶ BROUGHAM 2015: 9.

Az információnak és komplex működésének a vizsgálata során láthattuk, hogy a komplex rendszerek közös tulajdonsága, hogy a követelmények eddig ismeretlen irányokban is hirtelen változhatnak. Ezért jelen dolgozat egyik általánosságban is alkalmazható tanulsága, hogy a komplexitás megjelenése esetén a katonai rendszerek fejlesztése és menedzsmentje során egyaránt a kontrollképesség fejlesztését kell előnyben részesítenünk a hatékonysággal szemben. Továbbá egy képesség kialakítása során a rendszerintegráció és az adaptáció kérdését saját, katonai kézben kell tartanunk, ezzel biztosíthatjuk a jövőbeni, eddig ismeretlen kihívások kezeléséhez szükséges konvertálható tudás létrehozását. A rendszerek szervezeti, személyi, eszköz- és eljárásbeli fejlesztése során erősíteni szükséges az új követelményeknek megfelelő gyors változtatás képességét, amely figyelembe veszi, hogy bármely tényezőben végrehajtott módosítás az összes többi tényezőre kihat.

A fentieknek megfelelően átgondolásra javasoljuk a külső szolgáltatások és eszközök beszerzésének és üzemeltetésének modelljét, a teljes körű szolgáltatások igénybevétele helyett inkább a modulrendszerű beszerzések irányában. Ennek érdekében javasoljuk a Magyar Honvédség saját rendszer-, rendszerintegrációs és mérnöki képességeinek növelését. Továbbá a komplex rendszerek esetében a modellezés és tervezése során a rendszerkapcsolatokra törekvő rendszerevolúciós megközelítés előtérbe helyezését.

Felhasznált irodalom

- BARABÁSI Albert-László (2003): *Behálózva. A hálózatok új tudománya*. Ford. Vicsek Mária. Budapest: Magyar Könyvklub.
- BARABÁSI Albert-László (2010): *Villanások. A jövő kiszámítható*. Ford. Kepes János. Budapest: Nyitott Könyvműhely.
- BOCCARA, Nino (2010): *Modeling Complex Systems*. New York: Springer. Online: <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6562-2>
- BROUGHAM, Greg (2015): *The Cynefin Mini-Book. An Introduction to Complexity and the Cynefin Framework*. [H. n.]: InfoQ.
- CAFARO, Carlo (2008): *The Information Geometry of Chaos: Toward a Unifying Characterization of Classical and Quantum Chaos*. Saarbrücken: Müller.
- CSANÁDI Győző (2017): Some Questions of Modelling and the Simulation of Information Management in Military Environment. *Defence Review*, (2), 146–160. Online: <https://honvedelem.hu/images/media/5f58bfe140f93952755433.pdf>
- DÍAZ NAFRÍA, José María (2010): What is Information? A Multidimensional Concern. *TripleC*, 8(1), 77–108. Online: <https://doi.org/10.31269/triplec.v8i1.76>
- DictZone [é. n.]: *Plecti jelentése magyarul*. Online: <https://dictzone.com/latin-magyar-szotar/plecti>

- DOBÁK Miklós – ANTAL Zsuzsa (2016a): *Vezetés és szervezés*. Budapest: Akadémiai. Online: <https://doi.org/10.1556/9789630598262>
- DOWNY, Allen B. (2018): *Think Complexity. Complexity Science and Computational Modeling*. Beijing–Boston–Farnham–Sebastopol–Tokyo: O'Reilly.
- EISNER, Howard (2005): *Managing Complex Systems. Thinking Outside the Box*. Hoboken, NJ: Wiley-Interscience. Online: <https://doi.org/10.1002/0471745499>
- ESTRADA, Ernesto (2023): What is a Complex System, After All? *Foundations of Science*, 29, 1143–1170. Online: <https://doi.org/10.1007/s10699-023-09917-w>
- FLORIDI, Luciano (2013): *The Philosophy of Information*. Oxford: Oxford University Press.
- FRADKOV, Alexander. L. (2006): Control of Chaotic Systems. *Control Systems, Robotics, and Automation*, 13. Online: <https://eolss.net/sample-chapters/C18/E6-43-22-03.pdf>
- GLEICK, James (1987): *Chaos. The Amazing Science of the Unpredictable*. London: Vintage Books.
- GLEICK, James (2008): *Chaos. Making a New Science*. New York: Penguin Books.
- Glosbe [é. n.]: „πλεκτός”. Online: <https://hu.glosbe.com/grc/hu/%CF%80%CE%BB%CE%B5%-CE%BA%CF%84%CF%8C%CF%82>
- GREENBERG, Riva – BERTSCH, Boudewijn (2021): *CYNEFIN: Weaving Sense-Making Into the Fabric of Our World*. Singapore: Cognitive Edge.
- HANSEN, Claire (2019): A komplexitás sajátosságai (részlet). *Ex Symposion*, (102), 13–24.
- HOLLAND, John H. (2014): *Complexity: A Very Short Introduction*. Oxford: Oxford University Press. Online: <https://doi.org/10.1093/actrade/9780199662548.001.0001>
- KINDLER József – PAPP Ottó (1977): *Komplex rendszerek vizsgálata. Összemérési módszerek*. Budapest: Műszaki Könyvkiadó.
- KRAJNC Zoltán – CSENGERI János szerk. (2016): *A hadtudomány és a hadviselés komplexitása a 21. században*. Budapest: NKE.
- KRAKAUER, David C. szerk. (2019): *Worlds Hidden in Plain Sight. The Evolving Idea of Complexity at the Santa Fe Institute, 1984–2019*. Santa Fe: Santa Fe Institute Press.
- KRAKAUER, David C. szerk. (2024a): *Foundational Papers in Complexity Science I*. Santa Fe: Santa Fe Institute of Science. Online: <https://doi.org/10.37911/9781947864542>
- KRAKAUER, David C. szerk. (2024b): *Foundational Papers in Complexity Science I–IV*. Santa Fe: Santa Fe Institute of Science. Online: <https://doi.org/10.37911/9781947864528>
- LIU, Kecheng et al. (2015): *Information and Knowledge Management in Complex Systems*. New York: Springer.
- LOSONCZ Márk (2021): A titkok komplex rendszerek – a titkosszolgálatok és az információs komplexitás. In SZIGETI Attila – UNGVÁRI ZRÍNYI Imre (szerk.): *Komplexitás a természetben és a társadalomban. Filozófiai és tudományközi megközelítések*. Kolozsvár: Pro Philosophia – Egyetemi Műhely, 113–127.
- MADRID, Carlos (2020): *A pillangó és a tornádó: Káoszelmélet és az éghajlatváltozás*. London: Eglemoss.
- Magyar etimológiai szótár [é. n.]: *Komplex*. Online: www.arcanum.com/en/online-kiadvanyok/Lexikonok-magyar-etimologiai-szotar-F14D3/k-F287B/komplex-F2BC9/?yJmaWx0ZXJzJjogeyJ-NVSI6IFsiTkZPX0xFWF9MZxhpa29ub2tfRjE0RDMiXX0sICJxdWVyeSI6ICJrb21wbGV4In0
- Magyar katolikus lexikon [é. n.]: *Káosz*. Online: <https://lexikon.katolikus.hu/K/k%C3%A1osz.html>
- MALIK, Fredmund (2016): *Strategy for Managing Complex Systems. A Contribution to Management Cybernetics for Evolutionary Systems*. Frankfurt – New York: Campus.

- MÉRŐ László (2014): *A csodák logikája. A kiszámíthatatlan tudománya*. Budapest: Tercium.
- MILLER, John H. (2016): *A Crude Look at the Whole: The Science of Complex Systems in Business, Life, and Society*. New York: Basic Books.
- MITCHELL, Melanie (2009): *Complexity: A Guided Tour*. Oxford: Oxford University Press. Online: <https://doi.org/10.1093/oso/9780195124415.001.0001>
- MTA [é. n.]: *Doktori Tanács*. Online: <https://mta.hu/doktori-tanacs/tudomanyagi-nomenklatura-106809szige>
- NEWMAN, Mark (2018): *Networks*. Oxford: Oxford University Press. Online: <https://doi.org/10.1093/oso/9780198805090.001.0001>
- NICOLIS, Gregoire – PRIGOGINE, Ilya (1989): *Exploring Complexity. An Introduction*. New York: W.H. Freeman & Co.
- PAKSI Dániel (2021): Emergencia és komplexitás: miben más és miben hasonló egy emergens és egy komplex jelenség? In SZIGETI Attila – UNGVÁRI ZRÍNYI Imre (szerk.): *Komplexitás a természetben és a társadalomban. Filozófiai és tudományközi megközelítések*. Kolozsvár: Pro Philosophia – Egyetemi Műhely, 53–68.
- PALMER, Tim (2022): *The Primacy of Doubt. From Climate Change to Quantum Physics, How the Science of Uncertainty can Help Predict and Understand our Chaotic World*. Oxford: Oxford University Press. Online: <https://doi.org/10.56315/PSCF9-23Palmer>
- PORKOLÁB Imre (2017a): Szervezetfejlesztés komplex műveleti környezetben. Gondolatok Stanley McChrystal tábornok és szerzőtársai könyve kapcsán. *Honvédségi Szemle*, 145(2), 145–154. Online: <https://kiadvany.magyarhonvedseg.hu/index.php/honvszemle/article/view/629/599>
- PORKOLÁB, Imre (2017b): Leadership Challenges in the 21st Century: The Future of Integrated Leadership Approaches. *Special Issue: Defence Review*, 145(1), 58–78. Online: https://honvedelem.hu/files/files/64874/hsz_20171_058_078_angol.pdf
- POSTMA, Jost (2023): *The Cynefin Framework in 60 Minutes: Navigating Complexity – Mastering Decision Making with the Cynefin Framework*. [H. n.]: BeWiseMedia.
- Project Management Institute (2014): *Navigating Complexity. A Practice Guide*. [H. n.]: Project Management Institute.
- Santa Fe Institute (2019): *What is Complex Systems Science?* Santa Fe Institute. Online: www.santafe.edu/what-is-complex-systems-science
- SMITH, Leonard (2007): *Chaos. A Very Short Introduction*. Oxford: Oxford University Press. Online:
- STODOLA, Jiří T. (2019): The Scope of the Concept of Information and the Future of Information Science. *Journal of Information and Organizational Sciences*, 43(1), 73–98. Online: <https://doi.org/10.31341/jios.43.1.5>
- STROGATZ, Steven H. (2000): *Nonlinear Dynamics and Chaos: With Applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- SZIGETI Attila – UNGVÁRI ZRÍNYI Imre szerk. (2021): *Komplexitás a természetben és a társadalomban. Filozófiai és tudományközi megközelítések*. Kolozsvár: Pro Philosophia – Egyetemi Műhely.
- Szinonimaszótár [é. n.]: „Komplikált” szinonimái. Online: <https://szinonimaszotar.hu/keres/KOMPLIK%C3%81LT>
- SZÜCS Péter (2021): Katonai vezetési kultúra a Magyar Honvédségben. *Hadtudomány*, 31(1), 21–30. Online: <https://doi.org/10.17047/HADTUD.2021.31.1.21>
- TEISMAN, Geert – VAN BUUREN, Arwin – GERRITS, Lasse M. szerk. (2009): *Managing Complex Governance Systems*. New York: Routledge. Online: <https://doi.org/10.4324/9780203866160>

- THURNER, Stefan – HANEL, Rudolf – KLIMEK, Peter (2018): *Introduction to the Theory of Complex Systems*. Oxford: Oxford University Press. Online: <https://doi.org/10.1093/oso/9780198821939.001.0001>
- TURNER, John R. – THURLOW, Nigel (2021): Cynefin's Influence on the Flow System. In GREENBERG, Riva – BERTSCH, Boudewijn (szerk.): *CYNEFIN: weaving sense-making into the fabric of our world*. Singapore: Cognitive Edge, 320–335.
- VICSEK Tamás (2003): Komplexitás-elmélet. *Magyar Tudomány*, 48(3), 305–307. Online: https://epa.oszk.hu/00600/00691/00246/pdf/EPA00691_mt_2003-03_305-307.pdf
- WALDROP, M. Mitchell (1992): *Complexity. The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos*. New York – London – Toronto – Sydney – Tokyo – Singapore: Simon & Schuster. Online: <https://uberty.org/wp-content/uploads/2017/04/Waldrop-M.-Mitchell-Complexity-The-Emerging-Science-at-Edge-of-Order-and-Chaos.pdf>
- WEST, Geoffrey (2018): *Scale: The Universal Laws of Life, Growth, and Death in Organisms, Cities, and Companies*. New York: Penguin Books.
- ZUREK, Wojciech H. szerk. (2023): *Complexity, Entropy, and the Physics of Information I*. Santa Fe: The Santa Fe Institute Press.

Az alternatív üzemanyagok alkalmazásának logisztikai aspektusai a Magyar Honvédség rendszerében

A légi közlekedési ágazat hatalmas változás előtt áll a most használt fosszilis repülőgép-tüzelőanyagok fenntartható alapanyagokból származó, nem fosszilis hajtóanyagokkal való helyettesítése tekintetében. A repülőgép-hajtóművek és az alternatív tüzelőanyagok kutatása és fejlesztése nagy ugrást ért el az elmúlt időszakban. Ez számos kihívást rejt magában. Nem szabad elfeledkezni az új üzemanyagok jelenlegi logisztikai rendszerbe történő beillesztésének kérdéséről. Bizonyos tüzelőanyagok tárolása, majd felhasználási helyére juttatása és a légi járműbe való betöltése nehézkes vagy még nem megoldott feladat. Dolgozatunkban áttekintjük az alternatív tüzelőanyagok logisztikai kihívásait, és olyan javaslatokat teszünk a Magyar Honvédség repülőgépüzemanyag-ellátó infrastruktúrájának átalakításával kapcsolatban, amelyek elősegíthetik a jelenleginél környezetkímélőbb katonai repülést, a fenntartható hajtóanyagokra való fokozatos átállást. Áttekintjük azokat a logisztikai folyamatokat és infrastrukturális elemeket, amelyek kulcsfontosságúak az alternatív üzemanyagok tárolásában, szállításában és felhasználásában.

Kulcsszavak: alternatív tüzelőanyagok, fenntartható repülés, logisztikai kihívások, infrastruktúra-átalakítás

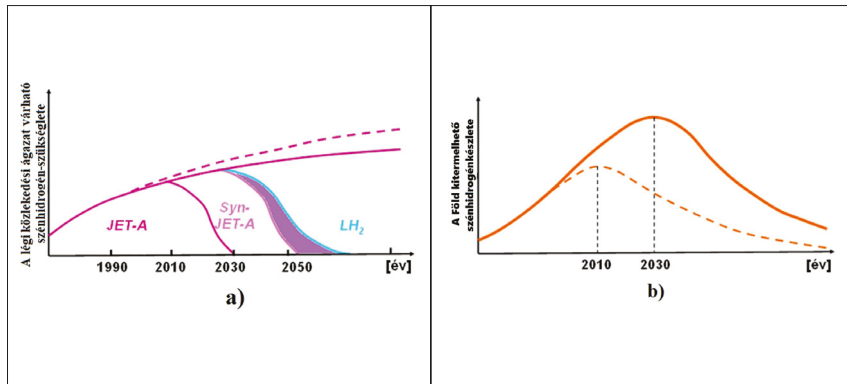
LOGISTICAL ASPECTS OF THE IMPLEMENTATION OF ALTERNATIVE FUELS IN THE HUNGARIAN DEFENCE FORCES

The aviation sector is on the brink of a significant transformation, particularly in replacing the currently used fossil-based aviation fuels with sustainable, non-fossil-derived propellants. Recent research and development in aircraft engines and alternative fuels have made substantial progress, bringing with them a host of challenges. It is essential not to overlook the integration of these new fuels into the existing logistical system. The storage, transportation, and refuelling of certain types of fuels can be challenging tasks that are often not yet fully resolved. In our study, we review the logistical challenges associated with alternative fuels and propose recommendations for transforming the fuel supply infrastructure of the Hungarian Defence Forces. These recommendations aim to facilitate more environmentally friendly military aviation and a gradual transition to sustainable propellants. We will also

examine the logistical processes and infrastructure elements that are crucial for the storage, transportation, and utilization of alternative fuels.

Keywords: alternative fuels, sustainable aviation, logistical challenges, infrastructure transformation

Bevezetés



9.1. ábra. A légi közlekedés energiaigényének és a kitermelhető szénhidrogén mennyiségének predikciója a 21. században

Forrás: ÓVÁRI–SZEGEDI 2010

Az éghajlatváltozással foglalkozó kormányközi munkacsoport (*Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC*) legfrissebb adatai szerint a légi közlekedés (belföldi és nemzetközi) felel az emberi tevékenység által generált szén-dioxid-kibocsátás 2,5%-áért (840 millió tonna), amely az évszázad közepére meghaladhatja a 3%-ot, de elérheti akár a 20%-ot is, amennyiben az egyéb emissziós források (döntően a hagyományos fosszilis energiahordozókat felhasználó közúti közlekedés) visszaszorulnak, például az elektromos meghajtás tömegessé válásával. Ezzel a repülés lesz a legnagyobb szén-dioxid-kibocsátó gazdasági ág az összes közül.¹ Azonban a repülés környezetkárosító hatása ennél jóval nagyobb mértékű, hiszen a repülőgépek általános üzemelési magasságán, a sztratoszféra határán már minimális a függőleges irányú légmozgás, így a hajtóművekből távozó szennyező

¹ Sections 2023.

anyagok (nitrogén-oxidok, kén-dioxid, szén-monoxid) évtizedekig megmaradhatnak, akkumulálódnak, és megkötő közeg hiányában hatásuk sokszorozódik.²

Jelenlegi vélemények szerint 2030-at követően a Föld kitermelhető szén-hidrogénkészlete fokozatosan és véglegesen csökkenni kezd [9.1/b) ábra], miközben az iránta való igények folyamatosan tovább növekednek. Ezáltal – a fenntartható fejlődés érdekében – elengedhetetlen gondoskodni ennek a megbízható pótlásáról, illetve kiváltásáról. A fokozatos átállás a tüzelőanyagok árának drasztikus növekedése miatti gazdaságossági megfontolásokból adódóan is egyre sürgetőbb mind a civil szféra, mind a Magyar Honvédség számára.

Néhány elsődleges tudnivaló a jelenleginél környezetkímélőbb repülések megvalósíthatóságáról

A lehetséges megoldások között jelenleg a legígéretesebbek az olyan új meghajtási technológiák, mint például az akkumulátoros, a hibrid-elektromos vagy a hidrogén-meghajtás, valamint a fenntartható alternatív üzemanyagok alkalmazásával történő repülés. A megújuló energiával tölthető akkumulátoros elektromos repülőgépek az azal az előnnyel rendelkeznek, hogy repülés közben nincs károsanyag-kibocsátásuk és igen alacsony az üzemelési zajszintjük. Azonban a jelenleg rendelkezésre álló akkumulátorok korlátozott kapacitása miatt hatótávolságuk, repülési idejük jóval kisebb a fosszilis eredetű tüzelőanyagokat alkalmazó repülőeszközökénél. Ennélfogva alkalmazhatóságuk egyelőre a kisgépes kategóriában valósul meg, például pilóta nélküli repülőgépek (*Unmanned Aerial Vehicle, UAV*), kiképző-, oktató- és sportrepülőgépek esetén. Az eddig érdemben megismerhető fejlesztések, vizsgálatok azt mutatták, hogy az akkumulátoros elektromos meghajtás a belátható jövőben nem lesz méretezhető nagyobb repülőgépekre és hosszabb repülési hatótávokra az energiatároló berendezések kis teljesítménye, alacsony energiasűrűsége, valamint a használatból adódó folyamatos kapacitáscsökkenés miatt.³

A folyékony hidrogén mint alternatív meghajtás hosszú távon megfelelő alternatívát jelenthetne számos előnyös tulajdonsága miatt:

- nagy energiasűrűség, égéshője a kerozinénak a háromszorosa;
- 0,36 kg hidrogén elégetésével annyi energia szabadítható fel, mint amennyi 1 kg kerozin használatával keletkezne;

² ÓVÁRI-FEHÉR 2020.

³ SZEGEDI-ÓVÁRI 2010.

- égése során nincs CO_2 - vagy más károsanyag-kibocsátás;
- üzemanyagcellákkal és elektromos motorokkal is alkalmazható;
- stabil égés;
- megújuló energiaforrásokkal előállítható.⁴

A hidrogén tüzelőanyaggal kapcsolatos legfontosabb logisztikai kihívások

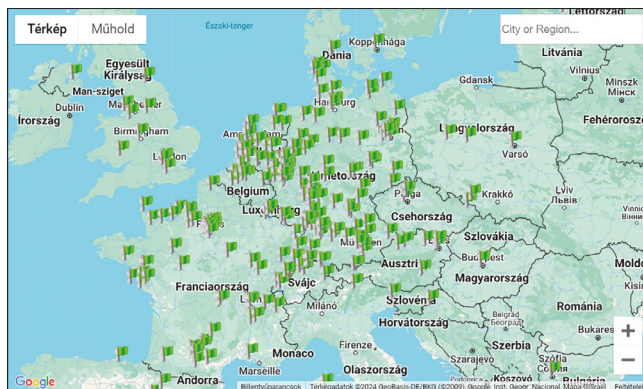
A hidrogén tüzelőanyagként való felhasználásának kutatása és fejlesztése napjainkban is folyik, azonban ez jelentős infrastrukturális átalakítást igényelne, illetve a technológia még nem kellőképpen kiforrott. Sűrűsége csupán $1/11$ – $1/12$ -e a kerozinénak, így egységnyi, a kerozinével megegyező energia tárolásához megközelítőleg 3,7-szeres tartálytérfogat szükséges. A tárolás gazdaságossága, a hajtóműbe történő precíz adagolás szükségessége miatt vagy cseppfolyósított (kriogén) állapotban, vagy magas nyomású gáz formájában célszerű alkalmazni. Előbbi esetben rendkívül alacsony forráspontja (-253 °C és -262 °C között) miatt folyamatos hűtést, második esetben pedig a 850 bar nyomásból adódó szilárdsági megfontolások miatt hengeres vagy gömbkialakítású fedélzeti tartályokat igényel. A töltő-leszívó berendezés hermetikusan és hőszigetelten csatlakozik a repülőgéphez. Az összekapcsolás előtt a tüzelőanyag-rendszer héliummal történő átfúvatása szükséges, a levegő (O_2) bekerülésének megakadályozása céljából. Amennyiben a gép hosszabb ideig tartózkodik az állóhelyen, a cseppfolyós H_2 gyors felmelegedésének megakadályozására vákuumszivattyúval a gázneművé vált felmelegedett hidrogént elszívják, és helyére hűtöttet vezetnek.⁵

A hazai hidrogénüzemű repülés fejlesztésének és alkalmazásának nem elhanyagolható logisztikai hiányossága, hogy a töltőkutak száma Közép- és Kelet-Európában jelenleg igen limitált (9.2. ábra). Azonban a hidrogén-üzemanyag alkalmazására vonatkozó jelenleg is folyó *NATO Science and Technology Organization* (STO) és *European Defence Agency* (EDA) -kutatások mellett előtérbe került egy európai együttműködés a hidrogén-infrastruktúra polgári és katonai kiépítésének megkezdésére, amelynek hazai megvalósítása is elkerülhetetlen.

Mivel ez az átállás évtizedeket fog felölelni, ez alatt az idő alatt feltételezhetően a hagyományos üzemanyaggal működő és a hidrogénüzemű légi járművek

⁴ BÉKÉSI–SÁRI 2021.

⁵ SZEGEDI–ÓVÁRI 2010.



9.2. ábra. Hidrogén-üzemanyagtöltő állomások Európában (2024. augusztus)

Forrás: H2Stations [é. n.]

egy időben is repülni fognak. Ennek megfelelően az infrastruktúra megkettőzésére lenne szükség a két merőben különböző hajtóanyagtípus miatt. A szállítási forgatókönyveket illetően megállapítható, hogy a sűrített vagy kriogén hidrogén teherautóval történő szállítása optimális lehet rövid távolságokra és kis mennyiség esetén. Ebben az esetben nincs szükség helyhez kötött üzemanyag-tárolásra a repülőtérre – a tankolás közvetlenül a mozgatható tárolóegységekből történne, amelyekkel a hidrogént a repülőtérre szállították. Ezzel szemben nagy távolságokra a csővezetékén történő szállítás a legjobb megoldás. Mindkét esetben nagyon fontos a tárolóegységek megfelelő szigeteléssel való ellátása, ugyanis a hőelnyelés következtében a hidrogén gyorsan tágul, így fokozott szivárgás- és robbanásveszély áll fenn. Ebből adódóan elengedhetetlen az olyan speciális tartályok fejlesztése, amelyek tartósan képesek a hidrogén cseppfolyós állapotának fenntartására⁶ (9.3. ábra).

A 9.1/a) ábrán látható, hogy az LH₂ (folyékony hidrogén) tüzelőanyag tömeges elterjedése majd csak a század második harmadára becsülhető. Amíg a folyékony hidrogén tüzelőanyagként való alkalmazásának technológiája el nem éri a megfelelő fejlettségi szintet, más alternatívák kifejlesztésére van szükség.

A jelenlegi piackutatások megalapozott előrejelzései szerint a 2050-es évekre csak az európai légi forgalom várhatóan megháromszorozódik, de világviszonylatban is hasonló növekedés feltételezhető.

⁶ MARKSEL et al. 2020.

Ahhoz, hogy ezek az új típusú hajtóanyagok beilleszthetők legyenek a Magyar Honvédség logisztikai rendszerébe, elengedhetetlen a rendelkezésre álló alternatívák fizikai és kémiai tulajdonságainak megismerése.

A Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet (*The International Civil Aviation Organization, ICAO*) ezenkívül különbséget tesz az alternatív repülőgép-üzemanyagok (*Alternative Aviation Fuel, AAF*), valamint a fenntartható repülőgép-üzemanyagok (*Sustainable Aviation Fuel, SAF*) között. Az AAF-eket kőolajtól eltérő forrásokból állítják elő (szén, földgáz, biomassza, hidrogénezett zsírok és olajok). A SAF-ok olyan AAF-ek, amelyek megfelelnek a fenntarthatósági kritériumoknak. A nemzetközi légi közlekedés szén-dioxid-kiegyenlítési és -csökkentési rendszerének (*Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation, CORSIA*) meghatározása szerint a SAF-nak legalább 10%-os karbonlábnym-csökkenést kell elérnie a fosszilis tüzelőanyagok 89 g CO₂e/MJ-os értékéhez képest.⁸

Az alternatív tüzelőanyagok főbb típusai

A hagyományos gázturbinás hajtómű-üzemanyagok szénhidrogének keverékei, amelyek legfőképpen paraffinokat, izoparaffinokat, cikloparaffinokat és aromás vegyületeket tartalmaznak. Ezeket a kőolaj desztillációjával vagy krakkolással állítják elő.⁹

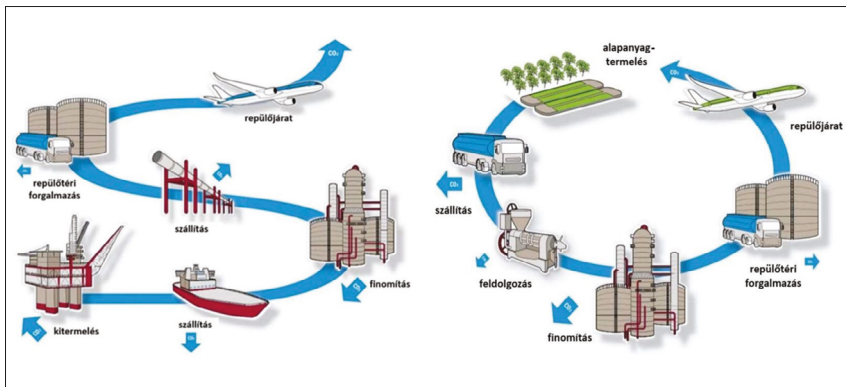
Ehhez jelenthetnek potenciális alternatívát a bio- és a szintetikus tüzelőanyagok, amelyeket nem lehet egymástól teljesen elkülönítve kezelni, hiszen alapanyagaikban, illetve előállítási technológiájukban is átfedések vannak (9.1. táblázat).

A bioüzemanyagok alapjául szolgáló biomassza anaerob bomlás eredményeként jön létre mezőgazdasági növényekből, ipari, illetve kommunális hulladékokból. Alapanyaguk eredete, származása, termőterülete alapján vagy az előállítási technológiai generációk szerint (első, második, harmadik, negyedik) kategorizálhatók. Az első generációs bioüzemanyagok élelmezésre is alkalmas növényekből származnak, mint például a kukorica, a burgonya vagy a napraforgó. A második generációs bioüzemanyag kiindulópontját olyan növények és szerves hulladékok biztosítják, amelyek se emberi élelmezésre, se állati takarmányozásra nem megfelelők, azonban a termesztés ebben az esetben is olyan termőföldön történik, ahol emberi fogyasztásra alkalmas növények is megélnék.¹⁰ A harmadik generáció fő

⁸ PECHSTEIN–ZSCHOCKE 2018.

⁹ SAMIMI 2012.

¹⁰ NAIK et al. 2010.



9.4. ábra. A hagyományos tüzelőanyag (balra) és SAF (jobbra) szén-dioxid-kibocsátása életciklusa során

Forrás: CABRERA – DE SOUSA 2022

alapanyaga a különböző mikro- és makroalgák, amelyek termesztéséhez nyílt vízi medencéket vagy fotobioreaktorokat alkalmaznak. A negyedik generációs bioüzemanyagok, más néven elektro- vagy fotobiológiai üzemanyagok esetén pedig a génmódosított mikroalgák mellett élesztőgombák és cianobaktériumok által szén-dioxidból előállított vegyületek szolgálnak alapanyagként.¹¹ Hosszú távon a bioüzemanyagok bizonyos tekintetben prioritást élveznek más alternatívákkal szemben, mivel előállításuk technológiai szempontból a legkevésbé terheli a környezetet, illetve a szén-dioxid-kibocsátás az életciklus során jelentősen csökkenthető, mivel a szén-dioxid egy részét a következő generációs növények újra felhasználják. A 9.4. ábra az életciklus-kibocsátás területén értelmezhető különbözőséget mutatja a fosszilis alapú repülőgép-üzemanyag és a bio SAF között. Azonban az alapanyagok elérhetősége korlátozott lehet, potenciálisan versenyhelyezettel járhat és etikai kérdések is felmerülhetnek a termőföldek más célra történő felhasználhatósága miatt.¹²

A jelenleg alkalmazott repülőgép-hajtóanyagok kiváltási lehetőségét jelenthetik még a jövőben a hidrogénezési eljárással előállított megújuló üzemanyagok (*Hydroprocessed Renewable Jet Fuel, HRJ*) vagy más néven hidrogénezett észterek és zsírsavak (*Hydroprocessed Esters and Fatty Acid, HEFA*). Ezeket használt sűrűsítéskiből, növényi olajból és állati faggyúból állítják elő, melléktermékként

¹¹ CHOWDHURY–LOGANATHAN 2019.

¹² FEHÉR–ÓVÁRI 2017.

pedig víz és propángáz keletkezik. A hajtóműben nem okoznak korróziót, viszont magasabb paraffinértékük rontja a dermedési pontjukat, amelynek értéke nagyban függ attól, hogy milyen alapanyagból készítik ezt az üzemanyagot. Emellett a kén és az oxigén hiánya miatt kenési tulajdonságaik is elmaradnak a kerozinétól.¹³

A másik nagyobb csoportot a szintetikus üzemanyagok alkotják, amelyek csak az ipari folyamatokból származó vagy közvetlenül a levegőből kinyert szén-dioxid és hidrogén előállításához és szintéziséhez igényelnek energiát. Alapanyaguk szerint megkülönböztetünk szén (*Coal-To-Liquids, CTL*), földgáz (*Gas-To-Liquids, GTL*) és biomassza (*Biomass To Liquid, BTL*) feldolgozásával létrehozható hajtóanyagokat. Ezek kiváló *drop-in* üzemanyagok lennének mind a légi járművek, mind a gépjárművek számára. Azonban a létrehozásukhoz szükséges Fischer–Tropsch-eljárás továbbra is az energiahatékonyság, a környezeti hatások és a gazdasági megvalósíthatóság bizonytalanságával néz szembe, hiszen az előállítási folyamatok vízfelhasználása és szén-dioxid-kibocsátása igen magas. Illetve a CTL- és GTL-üzemanyagok nem karbonsemlegesek és nem megújuló alapanyagból állíthatók elő.¹⁴

Alapvető szabványok az alternatív tüzelőanyagok nemzetközi minőség- és kompatibilitásbiztosítása érdekében

Ahhoz, hogy a hajtóanyag hivatalosan felhasználható legyen repülőeszközök működtetéséhez, szigorú kritériumrendszernek kell megfelelnie. Ezeket az elengedhetetlen minőségi jellemzőket nemzetközi szabványok és előírások határozzák meg, amelyek hiányában a biztonságos felhasználás nem történhet meg. Ennek megfelelően a nemzeti szinten a petróleumalapú üzemanyagok minőségének biztosítására megalkotott és elfogadott előírások alapját képezi az ASTM (az Egyesült Államok szabványügyi testülete) D1655 Szabvány a repülésben használatos tüzelőanyagok specifikációiról, a *UK MOD Defence Standard 91-91 AVTUR* (az Egyesült Királyság védelmi minisztériumi szabványa), illetve a *MIL-DTL-83133*. Ezek a specifikációk mind nagyon hasonlóak, mivel lényegében ugyanazt az anyagot írják le. Például az ASTM D1655 és a Def Stan 91-91 szinte azonos követelményeket támaszt a Jet A-1-re: a körülbelül harminc vizsgálati kritérium közül csak két kisebb eltérés van a vizsgálati határértékekben (a savasságszint és egy naftalintartalomhoz kapcsolódó kritérium). A tüzelőanyagok megfelelő minőségét

¹³ AIRportal.hu 2024b.

¹⁴ ÓVÁRI–SZEGEDI 2010.

és specifikációit a repülőeszköz és a hajtómű típusstanúsítványa, valamint a helyi előírások határozzák meg, bár a leggyakrabban a fentebb felsorolt szabványokat idézik. Ezt kiegészítendő 2009-ben kiadták az ASTM D7566 Szintetizált szénhidrogéneket tartalmazó repülőgép-üzemanyagokra vonatkozó szabványt. Erre azért volt szükség, mert az alternatív üzemanyagok esetében szigorúbb kritériumokat kellett megállapítani a növényi olajok, a biomassa vagy a szén folyékony üzemanyaggá történő átalakításához szükséges új eljárási technikákkal kapcsolatos tapasztalatok hiánya miatt.

A Magyar Honvédség egyrészt az európai uniós tagság okán, másrészt NATO-tagságából eredően az európai NATO-szabványokat köteles alkalmazni. A gázturbinás légi járművek hajtóanyaga, azaz a Jet A-1 minőségi követelményeit, vizsgálati módszereit a 2012 novemberében kiadott MSZ 10870:2012 magyar szabvány tartalmazza. NATO-kódja: F-35; katonai azonosítója: JP-1A. A katonai repülésben a JP 8 típusú hajtóanyagot használják, ennek NATO-kódja F-34. A kettő annyiban tér el egymástól, hogy a JP 8 több adalékanyagot tartalmaz (jegesedésgátló, korróziógátló, kenőképeség-javító, villamos vezetést javító), ezáltal szélesebb körben, zordabb időjárási viszonyok között is alkalmazható. Az üzemeltetés során használt üzemanyag elsődlegesen az energia forrását jelenti, de biztosítja a berendezések kenését is. Az égőtérben az égés során felszabaduló kémiai energiát a turbina mechanikai munkává, a fűvöcső pedig kinetikai energiává alakítja át.¹⁵

A D7566 szabványban közzétett mellékletek a jelenlegi légijármű-üzemeltetési célra elfogadott alternatív tüzelőanyag-féleségeket tartalmazzák, amelyeket az eredeti specifikáció 2009-es kiadása óta időszakosan adtak hozzá (9.1. táblázat). Minden egyes melléklet kibocsátását szigorú tesztelési program előzte meg. Ezek tartalmazzák az előállítási folyamat, a kiindulási alapanyag és az így előállított alternatív üzemanyag összetételének leírását, valamint azokat a követelményeket, amelyeknek meg kell felelniük.

A „paraffin” megnevezés arra utal, hogy ezek a szintetikus repülőgép-üzemanyagok nem tartalmaznak aromás anyagokat, hanem elsősorban telített vegyületeket (alkánokat). Sajnos a feldolgozás egyik részfolyamata során az aromás vegyületeket teljes mértékben kivonják. Ezek hiánya az üzemanyagrendszerben található tömítések elégtelen mértékű térfogatduzzadásához vagy megkeményedéséhez vezet, aminek a következménye üzemanyag-szivárgás lehet. Az ilyen eljárással létrehozott üzemanyagoknak adalékoláson kell átesniük legfeljebb 50%-os arányban hagyományos Jet A-1 üzemanyaggal, hogy a keverék elérje a minimálisan szükséges,

¹⁵ Kovács 2017.

9.1. táblázat. A SAF-ok fajtái és előállítási módjai

Előállítás módja	Alapanyag	Maximális keverési arány	A jóváhagyás dátuma
<i>Fischer–Tropsch-féle szintetikus paraffinos kerozin (FT-SPK)</i>	biomassza (erdészeti maradványok, szilárd városi és mezőgazdasági hulladék), szén, földgáz	50%	2009
<i>Fischer–Tropsch-féle szintetikus aromás kerozin (FT-SPKA)</i>	megújuló biomassza (erdészeti maradványok, energianövények, mezőgazdasági és városi szilárd hulladék), szén, földgáz	50%	2015
<i>Hidrogénezett észterekből és zsírsavakból előállított szintetikus paraffinos kerozin (HEFA-SPK)</i>	növényi olajok (<i>jatropha</i> , <i>camelina</i> , algák), állati zsírok	50%	2011
<i>Hidrogénezett szénhidrogének (HHC-SPK vagy HC-HEFA)</i>	<i>Botryococcus braunii</i> alga	10%	2020
<i>Hidrogénezett fermentált cukorból származó szintetikus izoparaffin (HFS-SIP)</i>	mikrobiális módszerrel szénhidrogénné átalakított cukrok	10%	2014
<i>Alkoholból előállított szintetikus paraffinos kerozin (ATJ-SPK)</i>	mezőgazdasági hulladékokból, melléktermékekből (erdészeti fahulladék, szalma, fű) előállított alkoholok (izobutanol, etanol)	50%	2016
<i>Katalitikus hidrotermolízissel előállított szintetikus kerozin (CH-SK vagy CHJ)</i>	növényi olajok (<i>jatropha</i> , <i>camelina</i> , algák), állati zsírok	10%	2020

Forrás: CABRERA – DE SOUSA 2022

körülbelül 8%-os aromás szintet. A másik lehetőség a jelenleg nagyobb arányban alkalmazott nitril-kaucsuk (N0602) -tömítések jobb minőségű, ilyen összetevőt nem igénylő, fluor-szilikon (L1120) vagy fluorocarbon (V0835) tömítésekre való cseréje, amelyek térfogatváltozása minimális összefüggést mutat az aromás tartalommal. A másik probléma a kénvegyületek hiánya, amelyek a tüzelőanyag-rendszer mozgó alkatrészeinek kenéséhez lennének szükségesek. Emellett a magas paraffintartalom okozta magas dermedéspontjuk miatt szivattyúzhatóságuk és porlaszthatóságuk sem megfelelő, ami szintén további adalékolással oldható meg.¹⁶

Az FT-SPKA ugyanazon a Fischer–Tropsch-szintézisen esik át, de kiegészül könnyű aromás vegyületek, főként benzol alkilezésével. Ennek köszönhetően a

¹⁶ VARGA–ÓVÁRI–FEHÉR 2021.

végtermék tartalmaz aromás vegyületeket, ami növeli a kompatibilitását a jelenlegi hajtóművekkel. Bár ez a típus is – tapasztalatgyűjtés céljából – legfeljebb 50%-os keverési arányban alkalmazható, de nagy esély van rá, hogy a jövőben ez az arány növelhető lesz, és akár 100%-os helyettesítésre is alkalmasnak minősítik majd.¹⁷

Hasonló elővigyázatosság figyelhető meg a CHJ esetében is, hiszen ennek összetétele megegyezik a kőolajból származó Jet A üzemanyaggal, így nincsenek olyan tulajdonsági korlátozások, amelyek miatt szükség lenne kerozinnal való hígításra. Azonban 50%-os maximális keverési határt szabtak meg, hogy lehetőséget adjanak az üzemeltetési tapasztalatok felhalmozódására, mielőtt engedélyeznék az önálló alkalmazást.

Az előzőkkel ellentétben a HFS-SIP egyetlenegy típusú szénhidrogén-vegyületből áll, amelyet farnesánnak (2,6,10-trimetildodekán) neveznek. A kőolajból származó repülőgép-üzemanyagok 8–16 szénatomot tartalmazó szénhidrogének széles skáláját ölelik fel, ezáltal stabil égést biztosítanak különböző működési körülményei között. Ezzel szemben a farnesán kizárólag 15 szénatomos molekulát tartalmaz, ezáltal viszkozitása rendkívül nagy. Tesztek során kiderült, hogy a hagyományos repülőgép-üzemanyaggal 20%-ban kevert HFS-SIP áramlási tulajdonságai problémákat okoztak a segédhajtómű (*Auxiliary Power Unit, APU*) indítása során nagy magasságban, alacsony külső hőmérséklet esetén. Annak érdekében, hogy elkerüljék az üzemanyag túlzott telítettségét egyetlen szénhidrogéntípussal, keverési koncentrációját 10%-ra korlátozták.¹⁸

Logisztikai aspektusok, szállítás és tárolás

A Magyar Honvédségben alkalmazott üzemanyagok nagy részének beszerzése, így a keroziné is a MOL Nyrt.-től történik. Azonban jelenleg az ASTM D7566 szabványnak megfelelő üzemanyagot még nem forgalmaz, ennél fogva a beszállítást más vállalatok segítségével kell megoldani.

Figyelemre méltó alternatíva a Neste, egy finnországi székhelyű, 1948-ban alakult vállalat, amely élen jár a megújuló üzemanyagok és a fenntartható megoldások terén.¹⁹ A Neste jelenlegi éves HEFA-alapanyagú fenntartható repülőgépüzemanyag-kapacitása megközelítőleg évi 1,5 millió tonna. A Neste SAF több nagy repülőtéren is elérhető, beleértve a San Franciscó-i nemzetközi repülőtér, a Heathrow repülőtér

¹⁷ CABRERA – DE SOUSA 2022.

¹⁸ RUMIZEN 2017.

¹⁹ Neste [é. n.].

és a frankfurti repülőtér. Jelenleg számos vezető légitársaság, köztük a KLM, a Lufthansa, a Delta és az American Airlines is ezt az üzemanyagot használja.²⁰

Egy másik globális úttörő az alternatív repülőgép-üzemanyagok szektorában a SkyNRG. Ez az amerikai vállalat több mint 30 légitársaságot lát el fenntartható repülőgép-tüzelőanyaggal több kontinensen. 2021-ben a SkyNRG partneri szerződést kötött a Boeinggel, hogy globálisan növeljék a SAF-ok felhasználását. Érdeemes megemlíteni még a LanzaTech amerikai biotechnológiai vállalatot is, amelynek fő profilja az alkoholból előállított üzemanyagok (*Alcohol-To-Jet, ATJ*) gyártása. Ezzel a technológiával a vállalat képes bioüzemanyagot gyártani a szénelapú hulladékokból, mint például az acélgyártás során keletkező gázokból és más hulladékforrásokból.²¹ Emellett az Uniper energiaszolgáltató, a Siemens Energy, az Airbus repülőgépgyártó és a Sasol ecoFT vegyipari és energetikai vállalat együttműködik a németországi *Green Fuels Hamburg* projekt megvalósításában. A tervek szerint a létesítmény 2026-tól kezdve évi legalább 10 ezer tonna SAF-ot fog előállítani az első fázisban.²² Az említetteken kívül azonban még számos más cég is képviselteti magát ezen a területen, ebből adódóan több lehetőségünk is van az alternatív üzemanyagok ellátási problémájának megoldására.

A kerozin a tárolólétesítményekből vagy közvetlenül, vagy a hetényegyházai MH Anyagellátó Raktárbázis laboratóriumának közvetítésével kerül a felhasználási helyre, azaz Kecskemétre, az MH vitéz Szentgyörgyi Dezső 101. Repülődandárhoz, Szolnokra az MH Kiss József 86. Helikopterandárhoz és Pápára az MH 47 Bázisrepülőtérre. Szolnokra közúton, Pápára vasúton vagy közúton, a kecskeméti bázisra pedig vasúton, közúton, illetve csővezetéken – a vezetőképesség-csökkentő kivételével még adalékanyag-mentesen – érkezik az üzemanyag, amelyet aztán a helyi laboratóriumokban ismét kötelező vizsgálatoknak vetnek alá, amelyek során többek között az üzemanyag vezetőképességét, fajsúlyát és lobbanáspontját mérik. Ebben az állapotában az üzemanyag szavatossági ideje megközelítőleg két év.

A repülőterek alternatív üzemanyaggal való ellátása ugyanezekben a módokban lehetséges, azonban nagy különbséget jelent a hagyományos kerozinnal történő keverés helyszíne. Különböző forrásokból való beszerzés esetén lehetőség van közvetlenül a felhasználás előtt, a repülőtéren végezni. A SAF-ot külön tartályban tárolják a Jet A-1 üzemanyagtól, majd egy harmadik tartályban keverik össze. Ebben az esetben külön erre a célra rendszerbe állított keverőtartályok telepítésére van szükség. Egy másik lehetőség már bekevert állapotban szállítani a

²⁰ DETSIOS et al. 2023.

²¹ BAUEN et al. 2020.

²² DETSIOS et al. 2023.

felhasználási helyre, így a keverés köztes állomáson végzendő (például Hetény-egyháza vagy Pusztavacson). Kisebb üzemanyag-mennyiségek és 100%-ban fenntartható repülőgép-tüzelőanyaggal üzemelő repülőeszköz esetén az általános eljárást megkerülve dedikált üzemanyag-szállító teherautók látják el a repülőgépeket. A leggazdaságosabb megoldás a jelenleg üzemelő kőolaj-finomítók részleges vagy teljes átállítása SAF-előállításra. Ennek megvalósulása a „társfeldolgozás” eljárása, amelynek során a bioalapú nyersanyagokat és a hagyományos repülőgép-üzemanyagot együtt finomítják, így már eleve keverve jelenik meg. Ez jelenleg legfeljebb 5%-os SAF-arányra korlátozódik, de a közeljövőben akár 30%-ra is növekedhet. 5%-os aránynál általában csak katalizátorcsere szükséges, ami viszonylag egyszerűvé teszi a folyamatot, így az említett eljárás egyszerű alternatívát jelent. Nagyobb mértékű átalakításokra is szükség lehet, például a magas exoterm reakciók vagy a korróziós problémák enyhítésére. 2024 első negyedévére az EU-ban működő finomítók többsége már megkezdte az ezzel a módszerrel történő gyártást. Ezek a létesítmények potenciálisan nagyobb rugalmasságot kínálnak az elkövetkező átmeneti években, mivel képesek váltani a társfeldolgozás és a szimpla kőolaj-feldolgozás között a kereslet ingadozásainak kielégítésére.²³

A kerozin felhasználási helyre való eljuttatása után a helyi tárolás föld alatti tartályokban történik, amelyek epoxibevonattal rendelkeznek, amely kiváló korrózióállóságot biztosít, és számos vegyi anyaggal szemben ellenálló. Az eddigi tapasztalatok alapján ez a bevonat sem szállítás, sem tárolás során nem reagált eltérően a különböző SAF-ok esetében, azonban a tartályok előírt 15 évenkénti tisztítását és kalibrálását javasolt süríteni.

Felhasználás

A felhasználás előtt kerül sor a további adalékok, azaz a korróziógátló és jegesedésgátló folyadékok bekeverésére. Ezzel a kerozin szavatossági ideje három hónapra redukálódik. Ezután a repülőeszközök ellátását a föld alatti tartályokból feltöltött ÜTSZFP-35 MAN TGA 33.480, ÜTG-10-RÁBA H-25 és ÜTG-18-MAN HX 32.440 típusú gépjárművek végzik, amelyek a 9.5. ábrán láthatók.

A repülőeszköz tüzelőanyag-rendszerének feltöltése történhet központi, tartálycsoportonként vagy tartályonként elhelyezett feltöltőnyílásokon keresztül. Az utóbbinál általában nyitott feltöltőnyílást és töltőpisztolyt, a központi

²³ PEREZ–NYGAARD–TOPSOE 2024.



9.5. ábra. ÜTG-10-RÁBA H-25 (jobbra), ÜTG-18-MAN HX 32.440 (balra) és ÜTSZFP-35 MAN TGA 33.480 (középen) típusú üzemanyagtöltő és -szállító gépkocsik
Forrás: PAPP 2011

kialakításúnál hermetikusan záródó, túlnyomással működő gyorsöltőt alkalmaznak. Esetenként a kis és közepes szállítógépek fedélzeti áramforrásaik energiájával speciális fedélzeti szivattyút működtetnek, amely szűrést is megvalósítva irányváltó- és zárócsapok segítségével külső tárolókból (hordó, kannák, ciszterna stb.) a tüzelőanyagot a tartályba továbbítja. A tartályokból a tüzelőanyag hajtóművekhez történő továbbítása merev és hajlékony csővezetékek segítségével valósul meg. A merev csővezetékek anyagául durál, esetenként acél (nagy hőterhelésű helyeken) vagy réz (rezgécscillapításra) szolgálhat.²⁴ A fel nem használt, lejárt szavatosságú vagy légi járműből leengedett kerozint, amely már nem alkalmas repülési célokra, ipari kazánokban égetik el, más üzemanyagokkal együtt. Bár a repülőgépek tüzelőanyag-rendszerében alkalmazott fémkomponensek korróziós viselkedése az alternatív tüzelőanyagok hatására nem változik, a nitril-kaucsuk tömítések (O-gyűrűk) itt is jelen vannak, különösen a régebbi technikáknál.

Eddigi tapasztalatok

Napjainkban már több országban is folynak tesztrepülések SAF felhasználásával, aminek az egyik remek példája a Lufthansa kísérlete, amelynek során fél éven

²⁴ ÓVÁRI 2013.



9.6. ábra. Biokerozinnak kitett hőcserélő elszíneződése

Forrás: ZSCHOCKE 2018

keresztül üzemeltettek egy Airbus A321 típusú repülőgépet, amelyet 48,6%-os HEFA-keverékkel tankoltak. Az értékelés során a repülőgépet és a hajtóművet folyamatosan monitorozták, az adatokat összehasonlították egy referencia-hajtómű teljesítményével. Az üzemanyag minőségét többször tesztelték, és a kritikus paramétereket folyamatosan figyelemmel kísérték. A tárolás során nem történt sem sűrűségkülönbségből adódó szétválás, sem mikrobiális kontamináció. Azonban megemelkedett vezetőképesség volt megfigyelhető, mivel fémleválás történt a nem megfelelő belső borítással rendelkező tárolótartály faláról. A légi jármű hajtóművében nem észleltek rendellenességet, azonban a tüzelőanyag-rendszer biokerozinnak kitett részein szokatlan, sárga elszíneződés volt látható a magasabb kéntartalom következtében, de ez nincs hatással az alkatrészek működésére (9.6. ábra). Ezekről a rendellenességektől eltekintve a biokerozin legalább olyan jól teljesített a teszt során, mint a hagyományos.

A Lufthansa eredményeit azonban nem szabad automatikusan kivetíteni minden más SAF-előállítási eljárásra, ennél fogva minden új, ASTM-tanúsítvánnyal rendelkező alternatív üzemanyag-típus hasonló értékelése javasolt. Ugyanakkor mára megállapítható, hogy lehetséges olyan *drop-in* biokerozint előállítani, amely ugyanolyan biztonsággal és működési feltételek mellett használható, mint a hagyományos fosszilis Jet A-1.²⁵

²⁵ ZSCHOCKE 2018.

Összegzés

A fenntartható repülőgép-tüzelőanyagok gyártása gyors ütemben növekszik. 2023-ban a globális SAF-termelés meghaladta a 600 millió litert. Ugyanebben az évben az Európai Unió a termelés ösztönzése érdekében elfogadta a ReFuelEU Aviation kezdeményezést, amely kötelezi az üzemanyag-szolgáltatókat, hogy 2025-től az EU repülőterein legalább 2%-os arányban biztosítsanak SAF-ot, amely 2030-ra 6%-ra, 2035-re 20%-ra és 2050-re 70%-ra emelkedik (EBACE2024). Annak ellenére, hogy a jelenlegi termelési mennyiség még mindig alacsony, a SAF-gyártás lehetőségei nagyok. A Nemzetközi Energiaügynökség (*International Energy Agency, IEA*) forgatókönyve szerint még jelentős légi közlekedési hatékonyságjavításokkal és a nagy sebességű vasútra történő átváltással is 2060-ra még mindig szükség lesz évi körülbelül 150 millió tonna fenntartható repülőgép-tüzelőanyagra csak a nemzetközi légi közlekedéshez. A CORSIA mechanizmus bevezetésével a következő évtizedben, valamint az egyre több kormányzati törekvés mellett valószínű, hogy a növekedés az elkövetkező években felgyorsul.²⁶

Összességében megállapítható, hogy a SAF-ok logisztikai rendszerbe való beillesztése számos átalakítást igényel. Elsősorban új beszerzési láncot kell kiépíteni, amely magában foglalja az üzemanyaggyártók, -beszállítók és a logisztikai partnerek kiválasztását. Emellett, bár a repülőtereken található tárolók minimális átalakítással alkalmasak SAF befogadására, külön keverőtartályt kell kialakítani, illetve ehhez kapcsolódóan akár a csővezeték-hálózat bővítésére is szükség lehet. Valamint a műszaki eszközök és repülőgépek kompatibilitáshoz szükséges átalakítását is el kell végezni. Mindehhez jelentős kezdeti beruházásra lesz szükség. Az alternatív repülőgép-üzemanyagok bevezetése a Magyar Honvédség logisztikai rendszerébe nemcsak technológiai és infrastrukturális, hanem pénzügyi és szabályozási kihívásokkal is jár. A sikeres átállás érdekében átfogó stratégiai tervezésre és a Magyar Honvédség minden szintjén történő együttműködésre van szükség.

Felhasznált irodalom

Air Transport Action Group (2023): *Beginner's Guide to Sustainable Aviation Fuel*. Online: <https://aviationbenefits.org/media/168027/atag-beginners-guide-to-saf-edition-2023.pdf>

²⁶ BAUEN et al. 2020.

- AIRportal.hu (2024a): A világ légiflottájának megkétszereződésére számít a Boeing is. *AIRportal.hu*, 2024. július 22. Online: <https://airportal.hu/a-vilag-legiflottajanak-megketszerzesere-szamit-a-boeing-is/>
- AIRportal.hu (2024b): Több mint duplájára nő 2043-ra a világ légiflottája az Airbus szerint. *AIRportal.hu*, 2024. július 15. Online: <https://airportal.hu/tobb-mint-duplajara-no-2043-ra-a-vilag-legiflotta-az-airbus-szerint/>
- BAUEN, Ausilio et al. (2020): Sustainable Aviation Fuels: Status, Challenges and Prospects of Drop-In Liquid Fuels, Hydrogen and Electrification in Aviation. *Johnson Matthey Technology Review*, 64(3), 263–278. Online: <https://doi.org/10.1595/205651320X15816756012040>
- BÉKÉSI Bertold – SÁRI János (2021): A kriogenika felhasználhatósága a modern repülésben. *Repüléstudományi Közlemények*, 33(1), 137–156. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2021.1.11>
- BOICHENKO, Sergei – VOVK, Oksana – YAKOVLEVA, Anna (2013): Overview of Innovative Technologies for Aviation Fuels Production. *Chemistry and Chemical Technology*, 7(3), 305–312. Online: <http://doi.org/10.23939/chcht07.03.305>
- CABRERA, Eduardo – DE SOUSA, João M. Melo (2022): Use of Sustainable Fuels in Aviation: A Review. *Energies*, 15(7), 2440. Online: <https://doi.org/10.3390/en15072440>
- CHOWDHURY, Harun – LOGANATHAN, Bavin (2019): Third-Generation Biofuels from Microalgae: A Review. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 20, 39–44. Online: <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2019.09.003>
- DETSIOS, Nikolaos et al. (2023): Recent Advances on Alternative Aviation Fuels/Pathways: A Critical Review. *Energies*, 16(4), 1904. Online: <https://doi.org/10.3390/en16041904>
- EBACE2024 (2024): *Experts Say SAF Supply, Demand Rising; Production Expected to Increase*. Online: <https://ebace.aero/2024/newsroom/ebace2024-experts-say-saf-supply-demand-rising-production-expected-to-increase/>
- FEHÉR Krisztina – ÓVÁRI Gyula (2017): A mikroalgák felhasználási lehetőségei a biodízel üzemanyagok előállításában. *Repüléstudományi Közlemények*, 29(2), 119–136. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/reptudkoz/article/view/4329/3537>
- H2Stations [é. n.]: *H2 Stations Map*. Online: www.h2stations.org/stations-map/?lat=49.139384&lng=11.190114&zoom=2
- KOVÁCS Gábor (2017): *A légiközlekedésben meglévő és új tüzelőanyagokra vonatkozó szabványok, alkalmazásuk feltételei*. Referátum (GINOP-2.3.2-15-2016-00007). Kecskemét: [k. n.]
- MARKSEL, Maršenka et al. (2020): Adaptation of Airport Infrastructure for Operation of ICE-Hybrid and Fuel-Cell Aircraft. In *19th International Conference on Transport Science. Maritime, Transport and Logistics Science. Conference proceedings*. Ljubljana: Slovene Association of Transport Sciences – University of Ljubljana, Faculty of Maritime Studies and Transport – University of Split, Faculty of Maritime Studies. Online: https://mahepa.eu/wp-content/uploads/2020/09/ICTS_2020_paper_32_Marksel-et-al-final.pdf
- NAIK, Satya Narayan et al. (2010): Production of First and Second Generation Biofuels: A Comprehensive Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(2), 578–597. Online: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.003>
- Neste [é. n.]: *Who We Are*. Online: www.neste.com/about-neste/who-we-are
- ÓVÁRI Gyula (2013): *Repülőszközök tüzelőanyag-rendszerei*. Budapest: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék.
- ÓVÁRI Gyula – FEHÉR Krisztina (2020): Repülőgépek elektromos meghajtása – szükségsszerűség kompromisszumokkal. I. rész. *Haditechnika*, 54(6), 5–10. Online: <http://doi.org/10.23713/HT.54.6.02>

- ÓVÁRI Gyula – SZEGEDI Péter (2010): Alternatív üzemanyagok alkalmazásának lehetőségei a repülésben. *Repüléstudományi Közlemények*, 22(Ksz.), 548–576. Online: <https://demo.repozitorium.uni-nke.hu/xmlui/handle/123456789/1172?show=full>
- PAPP Mihály (2011): *A Magyar Honvédség főbb haditechnikai eszközei*. Székesfehérvár: Magyar Honvédség Összhaderőnemi Parancsnokság.
- PECHSTEIN, Jan – ZSCHOCKE, Alexander (2018): Blending of Synthetic Kerosene and Conventional Kerosene. In KALTSCHMITT, Martin – NEULING, Ulf (szerk.): *Biokerosene*. Berlin: Springer, 665–686. Online: https://doi.org/10.1007/978-3-662-53065-8_25
- PÉREZ, Maria J. L. – NYGAARD, Gitte Thomsen – TOPSOE, Sylvain Verdier (2024): SAF Production via Co-Processing in the Kerosene Hydrotreater. *DigitalRefining*, 2024. május. Online: www.digitalrefining.com/article/1003094/saf-production-via-co-processing-in-the-kerosene-hydrotreater
- RUMIZEN, Mark (2017): Aviation Biofuel Standards and Airworthiness Approval. In KALTSCHMITT, Martin – NEULING, Ulf (szerk.): *Biokerosene*. Berlin: Springer, 639–663. Online: https://doi.org/10.1007/978-3-662-53065-8_24
- SAMIMI, Amir (2012): Normal Paraffin Production Process of Kerosene in Oil Refinery Company. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 1(2), 171–177.
- Sections (2023). In HOESUNG, Lee – ROMERO, Jose (szerk.): *Climate Change 2023. Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 35–115. Online: <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- SZEGEDI Péter – ÓVÁRI Gyula (2010): Hagyományos repülőgép-üzemanyagok kiváltásának lehetőségei és korlátai. *Hadmérnök*, 5(4), 16–37. Online: http://hadmernok.hu/2010_4_ovari_szegedi.pdf
- VARGA Béla – ÓVÁRI Gyula – FEHÉR Krisztina (2021): SPK tüzelőanyagok és tüzelőanyag-keverékek hatása a repülőgép-tüzelőanyag rendszerek nemfémes anyagaira. In BÉKÉSI Bertold (szerk.): *Műszaki tudomány az észak-kelet magyarországi régióban 2021 konferencia. Környezet- és földtudományok, műszaki hidrológia és repüléstudomány szekció. Előadások kiadványa*. Debrecen: MTA TABT Debreceni Területi Bizottság Titkársága, 87–91.
- ZSCHOCKE, Alexander (2018): Lufthansa Experiences Using Biokerosene. In KALTSCHMITT, Martin – NEULING, Ulf (szerk.): *Biokerosene*. Berlin: Springer, 725–740. Online: https://doi.org/10.1007/978-3-662-53065-8_28

Juhász Oszvald Viktor – Hegedűs Ernő – Tóth Bence

Magyarország katonai repülőtereinek kapcsolódása a közúti hálózatra

Magyarországon jelenleg három aktív katonai repülőtér működik. Ezen repülőterek az alaprendeltetésből és a NATO-szövetségi feladatokból fakadóan eltérő feladatrendszerrel működnek, kialakításuk is részben ennek tesz eleget. Azonban szükséges ezt tágabban is vizsgálni, hogy ezen repülőterek hol helyezkednek el az országon belül, és elhelyezkedésük és a közúthálózatra való csatlakozásuk mennyiben járul hozzá feladataik végrehajtásához. A repülőterek bemutatása után ismertetjük a magyar közúthálózat gerincelemeit és ezen közúthálózat csatlakozását a magasabb rendű európai útvonalakhoz és közlekedési folyosókhoz. Ezt követően a három repülőtér közvetlen csatlakozását mutatjuk be ezen hálózatokhoz. Mivel a repülőterek közvetlen közelének úthálózata jelentősen eltérő minőségű, szükséges az általános és konkrét fejlesztési igények bemutatása és a jelenleg ismert távlati fejlesztések ismertetése.

Kulcsszavak: katonai repülőterek, katonai műveletek támogatása, közúthálózat, közös felhasználású repülőterek, Magyar Honvédség

THE CONNECTION OF THE MILITARY AIRBASES OF HUNGARY WITH THE ROAD NETWORK

There are currently three active military airbases operating in Hungary. These airbases have different tasks due to their basic role and NATO Allied tasks, and their design partly fulfils these. However, it is necessary to look more broadly at where these airports are located within the country and to what extent their location and connections to the road network contribute to the performance of their tasks. After the presentation of the airbases, the backbone elements of the Hungarian road network and the connection of this road network to higher European routes and transport corridors will be presented. Subsequently, the direct connection of the three airbases to these networks will be presented. Since the road network in the immediate vicinity of airbases is of significantly different quality, it is necessary to present general and specific development needs and to describe the currently known long-term developments.

Keywords: military airports, support for military operations, road network, joint-use airports, Hungarian Defence Forces

Bevezetés

A katonai repülések végrehajtásához elengedhetetlenül fontos a katonai repülőtér. A jelenleg üzemelő három katonai repülőtérén a légi közlekedésről szóló 1995. évi XCVII. törvény és a 141/1995. (XI. 30.) Korm. rendelet követelményeinek megfelelően többek között az alábbi szolgáltatásokat kell működtetni:

- légi forgalmi irányító szolgálat;
- redundáns híradás;
- földi repülésirányító rendszerek;
- tanúsított repülésmeteorológiai szolgáltató által felügyelt (fenntartott) repülésmeteorológiai szolgálat, rendszeres METAR- és TAF-készítés;
- ellenőrzött légtér;
- precíziós műszeres futópálya (legalább CAT I.);
- részleges földi üzemanyag-kiszolgálás;
- a Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet (*International Civil Aviation Organization, ICAO*) által előírt szintnek megfelelő mentési, műszaki mentési és tűzoltó szolgálat;
- a légi forgalmi szolgálatok fix telepítésű telekommunikációs rendszerhez (*Aeronautical Fixed Telecommunication Network, AFTN*) való kapcsolata;
- a téli üzemhez szükséges hőeltakarító és más eszközök;
- fegyveres biztonsági szolgálat (őrség).

Mindezekon felül kialakítottak többek között az alábbiakra vonatkozó eljárásokat:

- légi navigációs;
- repülésbiztonsági;
- zaj- és környezetvédelmi;
- katasztrófavédelmi;
- katonai vonatkozású.

Ezekon felül egy katonai repülőtérén még az alábbiak is rendelkezésre állnak:

- betonozott fel- és leszállópálya, mellette egy tartalék – akár füves – leszállópálya;
- a készenléti szolgálatot ellátó alegység épületei és zónái;
- fedett-védett állóhelyek (védett fedezék a repülőgépek részére);
- repülőjavító hangár;
- a fegyverzettechnikai eszközök előkészítéséhez Egyesített Műszaki Állomás;

- repülőműszaki specifikus szakanyag-raktárak;
- megnövelt üzemanyag-tároló kapacitások redundáns ellátó rendszerekkel;
- kiszolgáló eszközök tárolására és javítására alkalmas gépjárműtelephely;
- a repülőtérré vezető, kiépített tehervasútvonal, kirakodó rámpák.

Magyarországon két, magyar üzemeltetésű katonai repülőtér (Kecskemét, Szolnok) és egy, a NATO-val közösen fenntartott katonai repülőtér (Pápa) található.

Jelen tanulmányban megvizsgáljuk, hogy a repülőterek hol helyezkednek el az országon belül, és elhelyezkedésük és a közúthálózatra való csatlakozásuk mennyiben járul hozzá feladataik végrehajtásához. Ismertetjük a katonai repülőtereket és alakulataikat, továbbá feladatrendszerüket. A repülőterek bemutatása után röviden vázoljuk a magyar közúthálózat gerincelemeit és ezen közúthálózat csatlakozásait a magasabb rendű európai útvonalakhoz és közlekedési folyosókhoz. Ezt követően ismertetjük a három katonai repülőtér közvetlen csatlakozását ezen hálózatokhoz. Mivel a repülőterek közvetlen közelének úthálózata jelentősen eltérő minőségű, szükséges az általános és konkrét fejlesztési igények bemutatása és a jelenleg ismert távlati fejlesztések ismertetése is.

Magyarország aktív katonai repülőtereinek bemutatása

Magyarországon jelenleg három aktív katonai repülőtér található, az alábbi alakulatok bázisán:

- Magyar Honvédség 47. Bázisrepülőtér – Pápa;
- Magyar Honvédség Kiss József 86. Helikopterandár – Szolnok;
- Magyar Honvédség vitéz Szentgyörgyi Dezső 101. Repülőandár – Kecskemét.

MH 47. Bázisrepülőtér – Pápa

A Magyar Honvédség MH 47. Bázisrepülőtere Pápán Magyarország egyetlen aktív nyugat-magyarországi katonai repülőtere, amely a NATO-val közösen fenntartott katonai repülőtér. A NATO közösen üzemeltetett C-17-es flottája a Stratégiai Légiszállítási Képesség (*Strategic Airlift Capability, SAC*) együttműködés keretében Pápán állomásozik – magyar részvétellel, magyar felségjellel. A hazánkat mint NATO-tagállamot érő fenyegetések esetén a pápai katonai repülőtérről – amely

elsősorban szállító repülőgépek üzemeltetésére szakosodott – jelentős szerepe van a légi szállítású NATO-s megerősítő erők fogadásában. Pápa repülőtere az erő-felfejlesztési művelet kulcseleme egyfelől védett nyugat-magyarországi pozíciója, másfelől nehéz szállító repülőgépek fogadására való alkalmassága miatt. A pápai repülőtér szerepe – az utóbbi évtizedekben NATO-gyakorlatok során kipróbált módon – többirányú lehet a csapatszállításokban:

- légiszállítható (ejtőernyős, légimozgékony) gyors reagálású erők fogadása légi úton az első lépcsőben, amelyek – műveleti szükségyszerűség szerint – Pápáról légi úton továbbszállítva hajtanak végre légideszant- vagy légiszállítási műveleteket;
- szárazföldi úton – közúton, vasúton – beérkező NATO-erők fogadása a repülőtér a második lépcsőben, amelyeket műveleti igény szerint szállítanak tovább Pápáról szállító repülőgépekkel, légi úton;
- ellátmány, hadianyag, utánpótlás (hadtápanyagok, alkatrészek stb.) szállítása a pápai repülőtérre elsősorban vasúton és onnan továbbszállítása – az igények szerint – légi úton, leszálló módszerrel vagy ejtőernyősteherszant-rendszerrel kirakva a felhasználó katonai szervezetnél, műveleti területre.

A felsorolt variációk közül csak az első nem igényli a pápai repülőtér a közlekedési hálózatba bekötő közutak és vasutak használatát, a másik két cselekvési variáns igen.

A pápai repülőtér építése 1936-ban kezdődött, és 1937-ben adták át. Ekkor még fűves repülőtér volt, de kerámia alagsövezéssel látták el felázás ellen. Kezdetben „fahangárok álltak a területen, melyek előtt betonozott állóhelyeket is kialakítottak”.¹ 1938-ban kétszázadnyi bombázó repülőgép került a pápai repülőtérre. Ezeknél rendszeresítették a Ju-86 nehézbombázó repülőgépet, amelyet 1943-tól szállításra használtak. 1939-től az ejtőernyős zászlóalj települt itt, különféle szállító repülőgépekkel (Caproni, Savoya-Marchetti stb.). A II. világháborúban is üzemelt a repülőtér, az ejtőernyős ezred bázisa volt, amelyről elsősorban szállító repülőgépek üzemeltek. 1942–1943-ban nagyszabású építkezések voltak a repülőtérre: ekkor épült az a csarnok is, amelyben az ejtőernyőket szárították és hajtogatták a katonák. 1944-re elkészült a 800×70 méteres betonozott futópálya.⁷ 1949-ben már egy vadászrepülő-hadosztály és egy vadászrepülő-ezred települt itt részben már gázturbinás vadászgépekkel. Ezért 1949-re a 800 méteres futópályát 2400 méteresre hosszabbították és egy 1700 méteres párhuzamos futópályát is

¹ VÁNDOR 2009: 193.

kialakítottak.⁷ 1950-től már csak gázturbinás MiG-ek repültek itt, mintegy 30 darab. 1961-ben a szovjetek más repülőterre távoztak, és Pápára települt a magyar 47. Harcászati Repülő Ezred MiG-21 vadászipülőgépekkel. 1979-től egy századot MiG-23 vadászipülőgép-típussal szereltek fel. 1981-ben a MiG-21 és a MiG-23 vadászipülőgépek számára felépültek a földfedezék-erősítésű, védett betonfedezékek (fedett, védett repülőgép-állóhely, amelynek hátsó traktusában gázvezető folyosót alakítottak ki az indításkor és a kiguruláskor keletkező magas hőmérsékletű gázok, égéstermékek elvezetésére), illetve javítóhangár. 1984-ben a futópálya teljes felújítására került sor. 2001-ben megalakult az MH Pápa Bázis-repülőtér. A NATO Biztonsági Beruházási Program (*NATO Security Investment Programme, NSIP*) során felépített 400 fős utasforgalmi fogadóépület megfelel a polgári szabványoknak is. 2009-től az MH Pápa Bázisrepülőterén tizenhárom NATO-tagország tart fenn közös szövetségi légiszállító kapacitást 3 darab C-17 Globemaster III típusú nehéz teherszállító repülőgéppel, tulajdonképpen ez a NATO SAC. 2023-tól a pápai katonai repülőtér új nevet és hadrendi számot visel: MH 47. Bázisrepülőtér.

A repülőtér kettős felhasználása a kilencvenes évektől merült fel először – ekkor a győri Audival folytattak elhúzódozó, de eredménytelen tárgyalásokat. 2012-ben Magyarország honvédelmi minisztere bejelentette a pápai repülőtér kettős felhasználására vonatkozó koncepció kidolgozásának megkezdését.² A Kormány 2012. október 24-ei ülésén döntött a NATO-val egyeztetve arról, hogy a pápai repülőteret vegyes használatú, civil és katonai teherszállító gépek fogadására is alkalmas intermodális logisztikai csomóponttá fejlesztik. A terv magában foglalja a 83-as főút felújítását, bővítését is.³ Ennek korszerűsítése Pápa és Győr között megtörtént. Ez azonban csak egy – az északi – irányban jelent jelentős kapacitású úthálózat-csatlakozást a pápai repülőtér számára. A Bázisrepülőtér jelenlegi rendeltetése és főbb feladatai az MH honlapján nyilvánosan megtalálhatók.⁴

A jövőbeni fejlesztések közül a legjelentősebb a Magyarországra beérkező erők pápai fogadása, állomásoztatása és továbbirányítása szempontjából kiemelkedő jelentőségű, mintegy 8000 m² alapterületű konténer- és szállítóeszköz-tároló kialakítása.⁵ 2024-ben adták át a Nehéz Légiszállító Ezred (*Heavy Airlift Wing, HAW*) 3200 m² alapterületű Kombinált Légikikötőjét (*Combined Aerial Port Facility, CAPF*), de további raktári kapacitások felépítését is tervezik.

² 24.hu 2012.

³ Honvedelem.hu / MTI 2012.

⁴ Honvedelem.hu 2022a.

⁵ VARJU 2020.

A pápai katonai repülőtér kettős hasznosításának lehetősége, annak vizsgálata konkrétan felmerült Keszthelyi Gyula 2014-ben publikált tanulmányában is, azonban ennek a hasznosítási formának a bevezetése az elemzés szerint nem biztos, hogy rentábilis lenne.⁶ Veér Jenő közlése szerint a „[p]apai repülőtér fejlesztése a honvédelmi tárca szerint 2015 és 2021 közötti időre tervezett és igen sokféle részfeladat fejlesztését és átalakítását valamint a civil forgalomra való új beruházásokat foglalná magába. Ezek között a legfontosabbak a fel- és leszálló pálya meghosszabbítása, a guruló utak szélesítése, a forgalmi előtéren a repülőgép álló és kiszolgálóhelyek bővítése, az utas/áru felvevő terület kialakítása, valamint a bázison belüli közművek és üzemanyag töltő rendszerek felújítása illetőleg a *(sic!)* híradó, informatikai és navigációs berendezések korszerűsítése. [...] A tervezett fejlesztést a [2020.] szeptember 05-i NATO csúcstalálkozón jelentették be.”⁷ A repülőtér logisztikai, raktári, átrakó-, illetve gépjárműparkoló kapacitásainak bővítését elősegítheti, hogy belső területein jelentős *összefüggő, hasznosítatlan erdőszült területek találhatók* – beleértve egy kis vízmélységű tavat és az ezt tápláló Darza-patakot is –, ugyanakkor kiépített belső úthálózattal és korábbi időszakban áthaladó ipari vasútvonallal is rendelkezik.⁸ Fontos még megemlíteni a pápai katonai repülőtéren települő Boeing-javítóüzemet, amely az itt települő C-17 szállító repülőgépekkel felszerelt Nehéz Légiszállító Ezred repülőtechnikájának üzemben tartását hivatott biztosítani.

*A Kiss József 86. Helikopterandár
és a szolnoki katonai repülőtér*

A füves szolnoki katonai repülőtér építését 1939-ben úgy kezdték meg, mint repülő kiképzési központ.⁹ A repülőtér futópályájának közel észak–dél az iránya, déli végén Rákóczi falvával, az északon a Holt-Tiszával. A reptérelépítéssel párhuzamosan elkezdődtek a városból a repülőtérre vezető út építésének munkálatai.

1940-ben a szolnoki katonai repülőtérré települt az 1. Vadászpilóta ezred 1. osztálya (I/1.). „Két 35 × 50 méter alapterületű vasbeton hangár védte a repülőgépeket, melyeket úgy terveztek, hogy a kiszolgálásukhoz szükséges műhelyek a hangárból nyíltak. Ezzel megoldották, hogy a műszaki munka az időjárás viszontagságaitól

⁶ KESZTHELYI 2014: 40.

⁷ VEÉR 2021.

⁸ GYÖMBÉR 2020.

⁹ Kelepisti 2020.

mentesen folyhasson. A repülőtér a megfelelően előkészített, sima felületű, 1000 méter hosszú kifutópályájával az akkori légierő valamennyi repülőgéptípusát fogadni tudta. Elkészültek a kiszolgáló épületek és a szállások, melyek a hangárok közelében lettek felépítve. Az épületek jelentős része napjainkban is funkcionál.”¹⁰ A vadászipülőgépek üzemeltetése mellett a szolnoki katonai repülőtér fontos oktatási és kiképzési bázissá vált a II. világháború éveiben, amikor tovább folytak az építkezések, és „[a] németek megkezdték a repülőtér építését és a hozzá kapcsolódó repülő-oktatási tevékenységet. Ez bevett gyakorlat volt abban az időben, hiszen nem voltak még repülőiskolák.”¹¹ 1941-től a szolnoki repülőtéren a magyar légierő is vadászipülő-átképzést, majd hajózó-gyakorlatot képzést folytatott 5 darab Reggiane Re-2000 vadászipülőgéppel (majd a keleti hadszíntérre vezényelték a Re-2000 vadászipülő-századot).¹² A Héja gyakorló vadászszázad felfejlesztésével a szolnoki „[v]adász osztály nevét 1. Gyakorló Vadászosztályra változtatták, utalva arra, hogy itt folyt a Héja átképzés – pilóták és repülőműszakiak képzése”.¹³ 1942-től Szolnokon az 1. Honvéd Vadász Gyakorló Század Repülő Üzemi Alosztálya foglalkozott a repülőműszakiak gyakoroltatásával is.¹⁴ 1942-től itt folytatott képzést az 1/2. gyakorló vadászszázad, amely egészen 1944. szeptemberig itt állomásozott és végezte a Héja hajózó és repülőműszaki kiképzést, gyakoroltatást.¹⁵ Emellett „1943 márciusában egy német kiképzőszázad települt a szolnoki repülőtérré [...] az (ABK-Z) Ungarn feladata a magyar és német hajózók romboló repülő-gépekre történő átképzése volt. [...] Júliusban a kassai Repülőakadémia végzős hallgatói is Szolnokra települtek a repülőkiképzés utolsó feladatainak teljesítésére. [...] Augusztus 15-től a szolnoki repülőtéren német Műszerrepülő-Kiképző Iskola (ABKI) működött. A szolnoki iskolában német és magyar pilótákat is oktattak. [...] Szeptemberben kezdte meg a működését a 4. Honvéd Önálló Repülőgép Javító Műhely a szolnoki repülőtéren.”¹⁶ 1943-tól a szolnoki katonai repülőtéren – a hazai gyártás felfutásával – már 18 darab MÁVAG Héja vadászipülőgép állomásozott, de e típust az év végétől gyakorló vadászipülőgéppé minősítették vissza.¹⁷ A szolnoki 1. vadászipülő kiképző osztály 1944-ig Héja, ezt követően Me

¹⁰ MAGÓ 2017.

¹¹ PÁHY 2022.

¹² FEKETE 2008.

¹³ JETHY 2010.

¹⁴ SZÓRÁD 2013.

¹⁵ TOBAK 1999.

¹⁶ JETHY 2010.

¹⁷ PIROS 2019: 130.

109 vadászpilóta géppel is folytatott kiképzést.¹⁸ „1944 márciusában [...] az 1/1. századnak 6 db Me 109-ese és 4 db Héja II. vadászpilóta gépe volt. Az 1/2. század 4 db Héja II. vadászpilóta géppel rendelkezett.”¹⁹ Német oktatók DFS-230-as deszantszállító vitorlázó gépek repültetését is oktatták Szolnokon.²⁰ 1945-től szovjet csatarepülő hadosztály települt Szolnokra. A háború után, 1947-től Zlin-381 (Bücker Bestmann) csehszlovák iskola-repülőgépekkel folytattak hajózásképzést. 1949-ben Szolnokon létrejött a Honvéd Kilián György Repülő Hajózó Tiszti Iskola. A szolnoki hajózásképzés Zlin-381 iskolagépeket és 10 darab Avia C-2 típusú gyakorló vadászpilóta gépet (Arado Ar 96) kapott. 1949-től Il-10 csatarepülőgép-képzés is zajlott a repülőtéren. 1957-re elkészült a 2000×70 méteres betonozott futópálya.²¹ A szovjetek részéről itt települt a központi repülőműszaki szakanyagraktár és a repülőműszaki szakiskola 1961-ig.²² Ezután létrehozták a Kilián György Repülőezredet, amelyet 1961-től L-29 Delfin könnyű gázturbinás kiképző-repülőgéppel is felszereltek. 1984-ben megalakították a 89. Vegyes Szállítórepülő Ezredet Mi-8T helikopterekkel és An-26T típusú könnyű harcászati szállító repülőgépekkel, amely 2004-től MH 86. Szolnok Helikopterezred néven működött tovább. 2005-ben vette fel a laktanya Ittebei Kiss József hadnagy, első világháborús magyar ászpilóta nevét. 2007-től az ezred helyett MH 86. Szolnok Helikopter Bázisként, dandárszervezetként végzi feladatait. A helikopterdandár jelenlegi rendeltetése és főbb feladatai szintén megtalálhatók az MH honlapján.²³

Magyar Honvédség vitéz Szentgyörgyi Dezső
101. Repülődandár és a kecskeméti katonai repülőtér

A kecskeméti katonai repülőtér építése 1935-ben kezdődött, átadására 1937-ben került sor. 1938-ban FIAT Cr-32 vadászpilóta gépek, 1939-től He-70, WM-21 és Ju-86 repülőgépekkel a felderítő és a bombázó repülőerők települtek itt. 1940-re három hangár épült. A II. világháború során, 1941-től német felderítő repülőszázadok állomásoztak a kecskeméti – ekkor még füves – repülőtéren, később német vadász- és szállítórepülő alakulatok települtek ide. 1942–1943-ban a németek

¹⁸ NAGYVÁRADI – M. SZABÓ – WINKLER 1986: 233.

¹⁹ JETfly 2010.

²⁰ SÁGI 1997.

²¹ VÁNDOR 2009: 224.

²² VÁNDOR 2009: 224.

²³ Honvédelem.hu 2022b.

építkezéseket és futópálya-betonozást végeztek, így elkészült „[a] németek által épített 1500 m hosszúságú, úgynevezett nagykör guruló- és felszállómezője”.²⁴ 1944 nyarán a szövetséges csapatok légierije több alkalommal intézett légitámadást a repülőtér ellen, súlyos károkat okozva. 1949-től a magyar légierő települt itt, amikor felállították a 41. Vegyes Repülőezredet két vadász- és egy csatarepülő-századdal. 1951 folyamán a 24. Vadászrepülő Ezred Kecskemétre költözött. 1951-re elkészült a 2500×70 méteres betonozott futópálya.²⁵ 1952-től a magyar vadászrepülő-ezred gázturbinás MiG-15 típusra állt át. 1958-ban a kecskeméti repülőtéren felállították a 86. Önálló Vegyesrepülő Századot. 1961-ben Taszárról a kecskeméti repülőtérre telepítették át a TÁRM-4 hangárszintű repülőgép-javító műhelyt, amelyet 1966-ra középszintű javítóműhellyé fejlesztettek Központi Repülőgépjavító Üzem (KRÜ), majd Légijármű Javítóüzem (LéJü) néven. 1962-től MiG-21 vadászrepülőgépek is repültek Kecskeméten. A 80-as évek elején felújították a repülőteret; Szentgyörgyi Dezső nevét az alakulat 1990-ben vette fel, mint Magyar Honvédség 59. Szentgyörgyi Dezső Harcászati Repülőezred. A MiG-29-esek 1994-től adtak készségi szolgálatot, aminek következtében a repülőtér teljesen átalakult ezen típus üzemeltetési koncepciójának megfelelően. A gépek üzemeltetése kiképzési repülések alkalmával egyzónás rendben, a központi zónából történt, csak az éleslövészet végrehajtásával járó kiképzési repülések idején működtek a második (lefegyverző) zónát is. 2000-ben megalakult a Magyar Honvédség 59. Szentgyörgyi Dezső Repülőbázis; az An-26-os szállítórepülő század pedig 2005 decemberében települt át Kecskemétre.²⁶ A Jas-39 Gripenek 2006-tól szolgálnak itt.

A Kormány a 242/2017. (VIII. 28.) Korm. rendeletben nemzetgazdasági szempontból kiemelt jelentőségű ügyé nyilvánította a *Modern Városok Program* keretében megvalósuló, az állami repülések céljára szolgáló kecskeméti repülőtér közös (katonai és polgári) felhasználású, polgári célú fejlesztését. A Neumann János Egyetem kutatása alapján „[a] városban jelenleg több nagy multinacionális cég is működik, akik igényt tartanak egy közeli polgári repülőtér használatára [...] A város többek között a Mercedes-Benz Manufacturing Hungary Kft-nek köszönhetően jelentős fejlődésen ment keresztül az utóbbi évtizedben, amely indokoltá teszi a katonai bázis megnyitását a civil forgalom előtt [...] ugyanis a gyárba érkező külföldi mérnökök, üzletemberek igénybe vehetik a repülőtér szolgáltatásait.”²⁷

²⁴ HALÁSZ 2005.

²⁵ VÁNDOR 2009: 120

²⁶ *A kecskeméti repülőtér története* [é. n.].

²⁷ BOLDIZSÁR–LELKES 2019.

A légierő haderőnem fejlesztése során megjelentek hazánkban az új szállító repülőgépek, amelyeket jelenleg 2 darab Dassault Falcon 7X típus, 2 darab Airbus A319, valamint 2 darab Embraer K-390 (jelen cikk írása idején 2024 második félévében tervezett érkezéssel) képvisel.

A két Dassault Falcon 7X nagy hatótávolságú, többcélú összekötő és szállító repülőgépet nem gyakran használják a Magyar Honvédség (a továbbiakban: MH) saját igényként megjelenő feladatai biztosítására (ugyanakkor képes egyes speciális katonai szállítási feladatok végrehajtására is), de képességei folytán kiváltja az MH által biztosítandó kormányzati szállításokat.

A légi szállítás tekintetében legjelentősebb képességfejlődést a 2 darab Airbus A319-112 típusú csapatszállító repülőgép megjelenése jelentette. Ezek alkalmasak az MH személyi állományának gyors, illetve nem palettázott személyi felszerelésének biztonságos és hatékony szállítására, de légi kiürítési feladat esetén magyar és szövetséges állampolgárok számára is elérhetők. Moduláris belső kialakításuknak köszönhetően alkalmasak lehetnek légi egészségügyi evakuálási feladatok elvégzésére is. A Repülődandár jelenlegi rendeltetése és főbb feladatai megtalálhatók az MH honlapján is.²⁸

Magyarország közúthálózatának bemutatása, szűk keresztmetszetek, az európai úthálózatokhoz való kapcsolódása

Magyarország közlekedési úthálózata tulajdoni szempontból közutakra és magánutakra oszlik. A közutak felosztása tovább bontható az állami tulajdonú országos közutak és az önkormányzati tulajdonú helyi közutak hálózatára. Az országos közutak hossza 2023 májusában 32 626 km, amelyhez tartozik még körülbelül 4000 km kerékpárút-hálózat is, amely a 355/2017. (IX. 29.) Korm. rendelet hatálybalépésével került a Magyar Közút kezelésébe. A helyi közutak hossza az országban 185 766,5 km.²⁹ Az országos közutakból 9456,4 km főhálózat, amelyből 2478,7 km „E” út, vagyis az európai úthálózat része. A gyorsforgalmi úthálózat hossza összesen 2429,7 km, amelyből 1324,3 km autópálya, 559,1 km autóút és 546,3 km autópálya vagy autóút csomóponti ága.

²⁸ Honvédelem.hu 2022c.

²⁹ Magyar Közút [é. n.].

Az útosztályba sorolás kategóriái

A dolgozatban később alkalmazott fogalmak egyértelműsítése érdekében meg kell említeni, hogy a hatályos magyar jogi szabályozás, a 26/2021. (VI. 28.) ITM rendelet az útügyi igazgatásról alapján az országos közúthálózat útosztályainak jellemzői, az útosztályba sorolás feltételei az alábbiak.

Autópályák

Csak gépjárműforgalom céljára szolgálnak. Távolsági – országok, országrészek, illetve régiók közötti –, valamint jelentős nemzetközi forgalmat lebonyolító és azt a legnagyobb közlekedésbiztonságot nyújtva, a legmagasabb minőségi színvonalon kielégítő, irányonként legalább két forgalmi sávval és leállósávval rendelkező osztott pályás utak, fizikai elválasztással. Minden keresztezése külön szintű és a forgalmi csomópontokban a gépjárművek fel- és lehajtására külön sávok szolgálnak. Az autópályán szintbeni vasúti átjárót és tömegközlekedési megállóhelyet, valamint az út menti ingatlanokhoz közvetlen csatlakozást létesíteni nem lehet. Csak a forgalmi csomópontokban szabad fel- és lehajtani. A környező területektől kerítés vagy más fizikai akadály választja el.

Autóutak

Szintén csak gépjárműforgalom céljára szolgálnak. Távolsági forgalmat bonyolítanak le, régiókat kötnek össze és a jelentősebb forgalmi irányokból (gazdasági, idegenforgalmi, kulturális stb. központokból) a forgalomnak az autópályára történő rávezetését biztosítják. Irányonként legalább két sávval rendelkező autóúton csak külön szintű csomópont létesíthető és a forgalmi irányokat fizikailag is el kell választani. Irányonként egy forgalmi sávval rendelkező autóúton minden keresztezés szabályozott és az autót átmenő forgalmának elsőbbsége biztosított, valamint leállásra alkalmas padka van mindkét oldalon. Az út menti ingatlanokhoz közvetlen csatlakozást, szintbeni vasúti átjárót és tömegközlekedési megállóhelyet létesíteni nem lehet. Csak a forgalmi csomópontokban lehet fel- és lehajtani.

Gyorsforgalmi utak csomóponti elemei

Az autópályák és az autóutak csomópontjainak összekötőpályái, összekötőágai, gyűjtő-elosztó pályái, valamint kiválási és becsatlakozási elemei, amelyek csak a gépjárműforgalom számára szolgálnak. (Az átmenő főpálya – igazgatási szempontból – a gyorsforgalmi út részét képezi.)

Elsőrendű főutak

Vegyes járműforgalom céljára szolgálnak, de a lassú járműforgalom – állandó vagy időszakos kivételektől eltekintve – tiltott. Távolsági forgalmat bonyolítanak le országrészek, régiók között, illetve azok forgalmának gyűjtő és elosztó szerepét látják el. Minden keresztezésük szabályozott, szintbeni vasúti keresztezés (iparvágány kivételével) nem létesíthető. Közúti csomópont létesítése – ha megengedett a balra kanyarodás – csak a járművek részére külön felálló sáv kialakításával történhet. Külterületen a tömegközlekedési járművek (például autóbusz, trolibusz stb.) részére megállóöblök állnak rendelkezésre, az út menti ingatlanokhoz nem létesíthető közvetlen csatlakozás, és csak a forgalmi csomópontokban lehet fel- és lehajtani.

Másodrendű főutak

Vegyes járműforgalom céljára szolgálnak, de a lassú járműforgalom megtiltható. Régiók és vármegyék közötti távolsági forgalmat bonyolítanak le, illetve azok forgalmának gyűjtő és elosztó szerepét látják el. Minden keresztezésük szabályozott, külterületen az út menti ingatlanokhoz – csak kivételes esetben – létesíthető közvetlen csatlakozás, de csak a forgalmi csomópontokban lehet fel- és lehajtani.

További utak

Ezeken felül a hivatkozott jogszabály alapján, de jelen publikációt nem érintve vannak még összekötőutak, bekötőutak, gyorsforgalmi utak pihenőhelyi útjai és egyéb országos közutak (csomóponti ágak, parkolóhelyi utak és kerékpárutak).

A fentiekből következően a gyorsforgalmi út nagy utazási sebességre tervezett, többségében irányonként elválasztott és szintbeli csomópontoktól mentes,

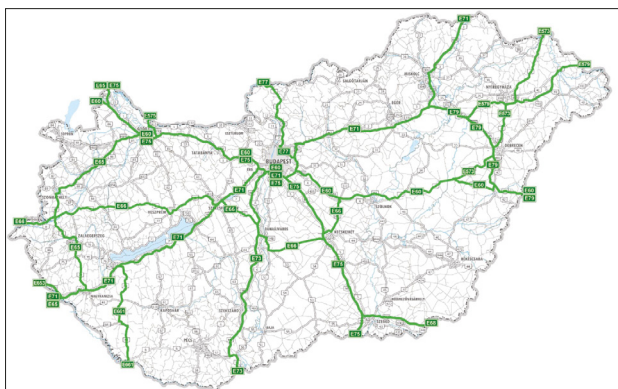
többsávos útpálya. Ez gyűjtőfogalom, magába foglalja az autópálya és az autótút fogalmát.

Közlekedési hálózatok

Az országos közutak hosszának 26%-a településeken halad keresztül, tehát a települések helyi forgalmának lebonyolításában is jelentős szerepet játszanak. Az országos közutakon 8276 darab híd, 1856 darab közúti-vasúti keresztezés (amelyből 1392 darab szintbeli, ebből 76 darab biztosítás nélküli) van, ezenkívül 6934 darab szintbeli gyalogos/kerékpáros átkelő található.

Az „E”-utak vagy európai utak a nemzetközi úthálózat részét képezik Európában. Ezek az utak európai szabvány szerint vannak kijelölve és számozva, amelyet az ENSZ Európai Gazdasági Bizottsága (*United Nations Economic Commission for Europe, UNECE*) dolgozott ki. Az „E”-utak célja, hogy egységes és összekapcsolt úthálózatot biztosítsanak a kontinensen, elősegítve a nemzetközi közúti közlekedést és kereskedelmet. A Magyarországon áthaladó „E”-utak áttekintése a 10.1. ábrán látható.

Az útvonalhálózat szerkezeti képére tekintve elsőre látható a később részletezendő Budapest-központúság. Bármelyik irányból érkezik is az útvonal, Budapest közvetlen közelébe fut be sugárirányban, és ott az M0 körgyűrűszerű autópálya



10.1. ábra. Az „E”-úthálózat magyarországi elemei

Forrás: Magyar Közút [é. n.]



10.2. ábra. Magyarország autópályái és autóútjai (kékekkel jelölve), valamint a három katonai repülőtér elhelyezkedése (piros körökkel jelölve)

Forrás: Wiimedia Commons 2024

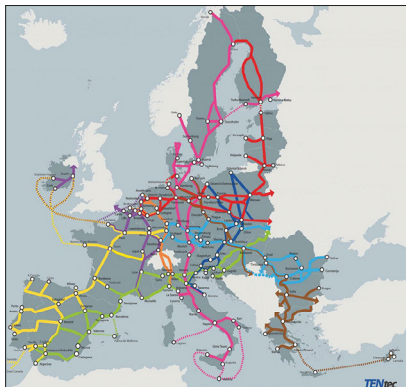
köti össze a többivel. A rövid E79 és a részleges E65 kivételével körútszerűen nincsenek az autópályák összekötve.

Magyarország autópályáinak, autóútjainak és a három katonai repülőtérnek az elhelyezkedése a 10.2. ábrán látható.

Ugyan léteznek Magyarországon is a „semmiből semmibe” vezető gyorsforgalmi útvonalak is (például M44, M8 vagy M80), többségében az autópályák nagyobb hálózat részét képezik. Ennek az egyik példája a transzeurópai közlekedési hálózat (*Trans-European Transport Network*) vagy röviden csak (a továbbiakban) TEN-T. Ez olyan közúti, vasúti, légi és vízi közlekedési hálózat, amelynek célja, hogy szolgálja az egész európai kontinens közlekedését. A TEN-T tágabb rendszer része, a transzeurópai hálózatoké (*Trans-European Network, TEN*), amely tartalmazza a közlekedésen kívül még a távközlési hálózatot (*Trans-European Telecommunications Networks, eTEN*) és az energetikai hálózatot (*Trans-European Energy Networks, TEN-E*).

A transzeurópai közlekedési hálózat az alábbi elemekből áll:

- közúthálózat;
- vasúthálózat, amely tartalmazza a nagy sebességű vasúthálózatot és a transzeurópai hagyományos vasúthálózatot;
- belvízi hajóúthálózat és belvízi kikötők;
- tengeri kikötők, valamint az úgynevezett tengeri autópályák;
- repülőterek;
- kombinált áru fuvarozási hálózat;



10.3. ábra. A TEN-T-folyosók áttekintő térképe

Forrás: European Commission 2021

- hajózási irányítási és információs hálózat;
- légi forgalomirányítási szolgálat, amely magában foglalja az egységes európai égboltot és a SESAR programot;
- helymeghatározási és navigációs hálózat, amely magában foglalja a Galileo programot.

A TEN-T-iránymutatásokat eredetileg 1996-ban fogadták el az Európai Parlament és a Tanács 1692/96/EK határozatával, amely a transzeurópai közlekedési hálózat fejlesztésére vonatkozó közösségi iránymutatásokról szól.

Ezt az eredeti elképzelést számos alkalommal módosították, alkalmazkodva a közlekedési hálózat fejlesztésére vonatkozó közösségi iránymutatásokhoz, az EU bővítéséhez és az ebből adódó forgalmi változásokhoz (lásd például az Európai Parlament és a Tanács 884/2004/EK határozatát).

2013 decemberében az (EU) 1315/2013 (TEN-T-iránymutatások) és az (EU) 1316/2013 (Európai Összekapcsolási Eszköz 1) rendelettel a TEN-T hálózatot három szinten határozták meg: az átfogó hálózat, a maghálózat, valamint a maghálózati folyosók kilenc folyosója. Az Európai Unió jelenlegi TEN-T-folyosói ezen reformok után kilenc fő közlekedési folyosóból állnak,³⁰ amelyek célja az európai közlekedési hálózat hatékonyságának és összekapcsoltságának javítása.

³⁰ European Commission 2013.



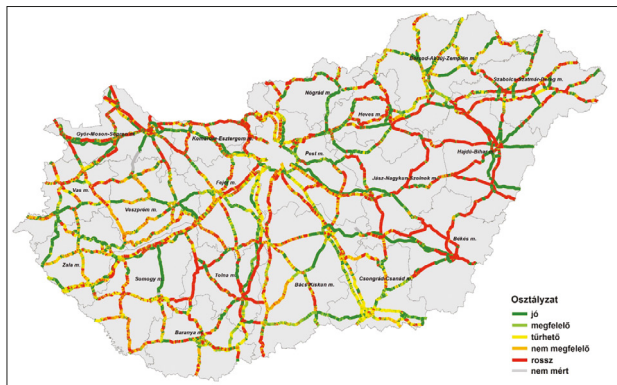
10.4. ábra. A Helsinki-folyosók áttekintő térképe

Forrás: Wikimedia Commons 2009

Ezek a folyosók kulcsfontosságúak az EU belső piacának integrációjában, támogatják a gazdasági növekedést, javítják a regionális összeköttetést és hozzájárulnak az éghajlatváltozás elleni küzdelemhez azáltal, hogy elősegítik a közlekedési módok közötti váltást a környezetbarátabb lehetőségek felé. A folyosók áttekintő térképe a 10.3. ábrán látható.

Magyarországon három fő TEN-T-folyosó halad át, amelyek a következők:

- Keleti/kelet-mediterrán folyosó: Észak-Németországból indul, és Görögországig, illetve Törökországig húzódik, áthaladva többek között Magyarországon is. Ez a folyosó fontos szerepet játszik az Észak- és Dél-Európa közötti közlekedésben, valamint a Fekete-tenger és a kelet-mediterrán térség elérésében.
- Rajna–Duna-folyosó: Franciaországból és Németországból indulva az Alpokon keresztül érkezik Magyarországra, majd innen továbbhalad a Duna mentén Romániába és Bulgáriába. A Rajna–Duna-folyosó fontos kapcsolatot biztosít Kelet- és Nyugat-Európa között, valamint elősegíti a dunai vízi közlekedést.
- Skandináv–mediterrán folyosó: fő útvonala nem halad át Magyarországon, csak az egyik elágazása érinti az országot, összekötve Észak-Európát (Finnország, Svédország) Dél-Európával (Olaszország, Málta), érintve Németországot és Ausztriát. Magyarország számára ez a folyosó kiegészítő összeköttetést biztosít a skandináv és mediterrán régiók felé.



10.5. ábra. Az országos főúthálózat burkolatállapot-osztályzata

Forrás: Magyar Közút [é. n.]

A második páneurópai közlekedési konferencián a TEN-T-folyosókon felül tíz páneurópai közlekedési folyosót határoztak meg mint olyan útvonalat Közép- és Kelet-Európában, amely jelentős beruházásokat igényel a következő 10–15 évben. Kiegészítések történtek a harmadik konferencián 1997-ben Helsinkiben, ezért ezeket a folyosókat néha „Helsinki-folyosóknak” is nevezik, függetlenül földrajzi elhelyezkedésüktől.

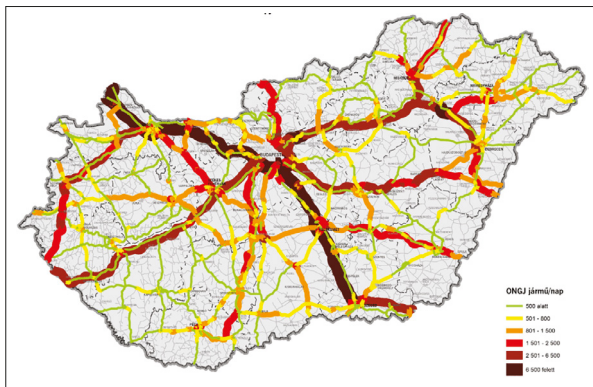
Ezek a fejlesztési folyosók elkülönülnek a transzeurópai közlekedési hálózattól, amelyek az Európai Unió egyik projektjét képezik, és magukba foglalják az összes fontos, meglévő útvonalat az Európai Unióban; bár vannak javaslatok a két rendszer összevonására, mivel a részt vevő országok többsége most már az EU tagja.

A Helsinki-folyosók áttekintő térképét a 10.4. ábrán láthatjuk.

A páneurópai folyosók és a TEN-T hálózat között szoros kapcsolat van, mivel mindkettő az európai közlekedési infrastruktúra fejlesztését és összekapcsolását célozza. Bár a két rendszer különböző kezdeményezés és más kezelők által felügyelt program, céljuk azonos: javítani az európai közlekedési hálózat hatékonyságát, fenntarthatóságát és integrációját.

Magyarországon négy Helsinki-folyosó halad át:

- a IV. folyosó az osztrák és a szlovák határtól Budapesten át Románia felé;
- az V. folyosó délnyugati irányból északkeleti irányba halad, a fő ág Szlovénián át vezet, míg az V/B és az V/C ág Horvátországon keresztül éri el az országhatárt, majd Budapesten egyesülnek, és továbbhaladnak Ukrajna felé;



10.6. ábra. A főutak és a gyorsforgalmi utak nehézgépjármű-forgalma

Forrás: Magyar Közút [é. n.]

- a VII. folyosó a Duna vízi útvonala, amely Ausztriától egészen Romániáig tart;
- a X. folyosó X/B ága Budapestről indul, és a szerb határig tart vasúti és közúti szakasza.

Mint azt már korábban is említettük, a magyarországi autópálya- és „E”-úthálózat felépítéséből, így az országon áthaladó főbb közlekedési folyosók rendszeréből megállapítható, hogy a magyar úthálózat erősen Budapest-központú. Ennek oka részben a főváros gazdasági és politikai jelentősége, a lakosság koncentrációja a főváros környékén, de jelentős hatással volt erre a trianoni békeszerződés teremtette állapot is.³¹

Budapest emiatt az ország legfontosabb közlekedési csomópontja: az M0 körgyűrű és más főútvonalak Budapest körül haladnak, összekötve az ország különböző részeit és átvezetve az átmenő forgalmat.

Az országos főúthálózat elvi felépítésének hibáin felül nagy gondot jelent annak állapota is. Az országos közutak teljes kiépített (földutak nélküli) hálózata vetítve annak 27,9%-án jó, 6,4%-án megfelelő, 23,2%-án tűrhető vagy nem megfelelő és 42,1%-án rossz a burkolat állapota. Ezen adatokat vizualizálva a 10.5. ábrán láthatjuk.

³¹ BALOGH 2020; ZSÁKAI 2020.

Korábban a Magyarországon áthaladó katonai szállítások északnyugat–délkelet irányúak voltak. A 2022. évi nehézgépjármű (ONGJ) -forgalmi adatok a 10.6. ábrán láthatók.

Azonban a jelenlegi geopolitikai helyzet miatt az északkeleti irányba történő felvonulás került előtérbe. Habár jelenleg Magyarország nem engedélyezi az országon áthaladó, halált okozó fegyverek szállítását,³² egy esetleges fegyveres konfliktus eszkalálódása vagy a NATO fegyveres erőinek bevonása esetén mégis kiemelt felvonulási területté válhat az ország.

A katonai repülőterek csatlakozási pontja a közúti hálózatra, ebből levonható következtetések

A katonai repülőterek közúthálózati igényei és követelményei

Magyarország katonai repülőterei stratégiai szerepet játszanak az ország és a szövetséges NATO-/EU-tagállamok védelmi képességeinek fenntartásában. Ezek hatékony működéséhez elengedhetetlen a megfelelő közúthálózat, amely biztosítja a gyors és biztonságos megközelíthetőséget. A közúthálózatnak nemcsak a repülőterek közvetlen közelében kell jól kiépítettnek lennie, hanem az idevezető gyorsforgalmi utaknak és csatlakozási pontoknak is meg kell felelniük bizonyos követelményeknek. A következő elemzésben részletesen bemutatjuk a katonai repülőterek közúthálózati igényeit és a különböző szempontokat, amelyek biztosítják ezek megfelelő működését.

Általánosságban elmondható, hogy a katonai repülőtereknek rövid időn belül elérhetőeknek kell lenniük a katonai járművek, személyzet és felszerelések számára a magasabb rendű közlekedési hálózatokról. Az utaknak biztosítaniuk kell a zavartalan és gyors közlekedést. Olyan megközelítési útvonalakat kell kiválasztani, amelyeken elkerülhetik a forgalmi torlódásokat és más akadályokat, amelyek késedelmet okozhatnak.

A katonai repülőternek közvetlen kapcsolattal kell rendelkeznie a főbb közlekedési útvonalakhoz, autópályákhoz és logisztikai raktárbázisokhoz. Ez biztosítja, hogy a katonai járművek és esetleges menetszlopok gyorsan és hatékonyan elérhessék a repülőteret. Az utak csomópontjait és elágazásait az esetleges túlmeéretes vagy menetszlopok szállítmányok katonai igényeihez igazodóan kell

³² MTI 2022.

megtervezni, hogy minimalizálják a forgalmi torlódásokat, és biztosítsák a gyors áthaladást. Ezenfelül az útvonalaknak megfelelően integrált hálózatot kell alkotniuk, amely könnyű átjárhatóságot biztosít a különböző irányokba haladó szállítmányok számára.

A kialakításnál az is megfontolandó követelmény lehet, hogy a magasabb rendű útvonalakhoz (gyorsforgalmi utak, korábban felsorolt folyosók) csatlakozó útszakasz ideiglenesen katonai feladatok ellátását szolgálhassa, de ezzel a polgári közlekedés még fenntartható legyen. Amennyiben ez teljes mértékben nem valósítható meg, akkor olyan többsávos bekötő- és csatlakozó utak kialakítása szükséges, ahol ideiglenesen egyes forgalmi sávok kizárólag katonai szállítások számára vehetők igénybe.

Ahogy a vasútvonalakra, ugyanúgy a közúthálózatra is nagyon fontos kritérium a megfelelő redundancia a közlekedési mátrixban.³³ Ez azt jelenti, hogy a kialakított útvonalhálózatban nem szabad olyan egyedi csomópontoknak vagy útszakaszoknak létezniük, amelyek kiesése a repülőtér elérhetőségét megüti vagy jelentősen korlátozza.

A kapcsolódó csomópontokat úgy kell kialakítani, hogy minimalizálják a forgalmi torlódásokat, és biztosítsák a gyors áthaladást. Ez elérhető többszintű csomópontok vagy körforgalmak alkalmazásával.

A katonai repülőterek környezetében kialakított utaknak képesnek kell lenniük nagy méretű (esetenként túlméretes szállítmányt tartalmazó) katonai menetoszlopok fogadására és irányítására. Az utaknak elég szélesnek kell lenniük a nagy méretű katonai járművek számára, és lehetővé kell tenniük a könnyű manőverezést. Ezenfelül az útfelületeknek ellenállónak kell lenniük a nagy terheléssel szemben, hogy elkerüljék a károsodást, és biztosítsák a folyamatos közlekedést.

Legalább a gyorsforgalmi úthálózatra vezető szakaszon lehetőség szerint kerülni kell a hidak és az alagutak használatát. Ezek teherbírásuk vagy méretbeli kialakításuk miatt korlátozhatják a katonai műveletek támogatását.

A közúthálózatnak támogatnia kell a katonai repülőtér ellátási láncát, amely magában foglalja az alaprendeltetésből fakadó, valamint az expedíciós feladatok ellátását. A logisztikai támogatás hatékonysága kritikus a repülőtér működése, így a műveleti feladatok ellátása szempontjából. Ezek miatt a közúthálózatnak összeköttetést kell biztosítania a raktárakkal és az elosztóközpontokkal, ahol a szükséges anyagokat tárolják és kezelik. Ezenfelül az utaknak alkalmasnak kell lenniük a nagy teherbírású járművek számára, amelyek a katonai készleteket szállítják.

³³ TÓTH 2019.

Katonai repülőtereknél megjelenhet igényként azok közös felhasználású repülőtérré történő fejlesztése.³⁴ Ebben az esetben a környező közúthálózatot olyan módon kell kialakítani, hogy az ebből eredő forgalmat és annak sajátosságait kezelni tudja.

Ezen általános követelmények megfogalmazása után bemutatjuk a jelenleg három aktív katonai repülőtér közúti megközelítésének lehetőségeit.

Magyar Honvédség 47. Bázisrepülőtér – Pápa

Pápa városa 50 km-re van déli–délkeleti irányban Győrtől és 75 km-re keletre Szombathelytől. Győrrel a fő közúti összeköttetést a teljes hosszában 2×2 sávos 83-as másodrendű főút biztosítja, amely ott becsatlakozik az E60-as (helyi M1) autópályába.

A főút kivitelezése 2023-ban fejeződött be, amely során kiszélesítették az utat, növelték teherbíró képességét, ívkorrekciókat hajtottak végre és megépítették a Tét városát elkerülő szakaszt.³⁵ A fejlesztésre azért is volt nagy szükség, hogy megfelelő színvonalú összeköttetés legyen a kiemelt NATO-bázissá váló pápai repülőtér és az M1-es autópálya között.

Szombathellyel a közúti összeköttetést a teljes hosszában 2×1 sávos 834-es és 88-as másodrendű főútvonal biztosítja, de már Sárvártól elágazva a 88-as vagy a 84-es úton becsatlakozási lehetőség van az E65 (helyi M86) autópályába. Az útvonal Sárvárig keresztezi Borosgyőrt, Nyárád, Nemesszalók, Mersevát, Celldömölk, Tokorcs, Nagysimonyi és Sitke települést, valamint keresztezi a 10. sz. Győr–Celldömölk és a 20. sz. Székesfehérvár–Szombathely vasútvonalat, valamint áthalad több hídon is.

A repülőtér főbejárata előtt közvetlenül a 8305-ös (Vaszari út, majd Külső-Győri út) 2×1 sávos mellékút halad el. Ennek az útnak a déli kezdőpontja Pápa városától északra ágazik ki a 83-as főútból, majd Gyarmat települése után csatlakozik abba vissza. A Pápa városa felé vezető részt teljes egészében felújították.

A repülőtér 1. számú (fő)bejárata, a 2. számú (teher)kapu és az északabbra található, ideiglenes jelleggel használt kapu ebbe az útszakaszba csatlakozik be, biztosítva a megfelelő áteresztőképességet és redundanciát. A közelmúltbeli és a jelenleg is tartó kiemelt beruházások során a megnövekedett teherforgalmat fennakadás nélkül képes volt az útszakasz és a kapuk kiszolgálni.

³⁴ JUHÁSZ 2024.

³⁵ SZABÓ 2023.

A repülőtéri vasút fejlesztése jelenleg zajlik, a közúti kapacitások – akár a repülőtér többirányú megközelíthetősége – bővíthetők. A pápai repülőtér déli és keleti bel- és peremterületei bővíthetők, akár raktárakkal, akár parkolókkal, egyéb infrastruktúrákkal. Ezt követően a szállító repülőgépek még hatékonyabb bázisává válhat és kettős hasznosítása esetén is felmerülhet (már csak a Liszt Ferenc repülőtér jelentős túlterheltsége miatt is) a *cargoprofil*.

Magyar Honvédség Kiss József 86. Helikopterdandár – Szolnok

Szolnok városa 100 km-re van keleti–délkeleti irányban Budapesttől, 60 km-re északkeleti irányban Kecskeméttől, Debrecentől pedig 150 km-re nyugati–délnyugati irányban.

Budapesttel és Debrecennel való összeköttetését az E60 (helyi M4) autótút biztosítja, amely a várost északról kerüli el. Ugyan a repülőtér két betonozott útra csatlakozó bejáráttal rendelkezik, mindkettő rövid bekötőúton át közvetlenül a 442-es, 2×1 sávós másodrendű főúthoz csatlakozik, amely északi irányba 5 km-re becsatlakozik a 2×1 sávós elsőrendű 4-es főútba. Ez a főút Szolnok városát déli irányból elkerülve nyugati és keleti irányba becsatlakozik az E60-as főútba. A repülőtér még más kapukkal is rendelkezik, de ezek földutakra csatlakoznak, közúti teherforgalom lebonyolítására nem alkalmasak.

A 4-es főútig vezető szakasz szinte teljes hosszában a Szolnok külvárosi részét képező Szandaszőlősen halad keresztül. Bár ez az egyetlen becsatlakozási lehetőség a magasabb rendű úthálózatba, nem rendelkezik leállósávval, semmilyen jellegű útkiszélesítéssel és több helyen külvárosi gyalogátkelőhely vagy forgalmi lámpa is található rajta.

Emiatt a szolnoki helikopterdandár magasabb úthálózatba történő bekötési lehetősége redundancia nélküli, nagyban sebezhető és egész évben fojtópontot jelent.

Magyar Honvédség vitéz Szentgyörgyi Dezső 101. Repülődandár – Kecskemét

Kecskemét városa 80 km-re fekszik déli–délkeleti irányban Budapesttől és 90 km-re északi–északnyugati irányban Szegedről. Mind Budapesttel, mind Szegeddel az összeköttetést az E75 (helyi M5) autópálya biztosítja, amely Kecskemétet nyugati irányból, közvetlenül a külváros ipari területein kerüli el.



10.7. ábra. A kecskeméti repülőtér főbejáratának környezete

Forrás: Google Earth

Ezenkívül az ország fő régiói keleti irányba a 44-es, 2×1 sávós elsőrendű főúton, nyugati irányba az E66 (helyi 52) 2×1 sávós másodrendű főúton érhetők el. A repülőtérrel az E75 autópálya két módon közelíthető meg:

- északi irányban a 2×1 sávós 445-ös másodrendű főúton,
- déli irányban a 2×1 sávós elsőrendű 44-es, majd a 2×2 sávós másodrendű 54-es főúton.

A repülőtér főbejárata, az 1. kapu annak zsiliprendszeres kialakítása, a repülőtér irányából szűkített megközelíthetősége, valamint a kívül található buszforduló, buszmegálló és lakótelepi útszéli parkoló kialakítása miatt nem javasolt nagyobb méretű vagy akár túlméretes szállítmányt tartalmazó menetoszlopok átmenő forgalmára. Ennek távlati képe a 10.7. ábrán látható.

Északi, nyugati vagy déli irányú megközelítés vagy elhagyás esetén a vasúti becsatlakozás mellett található 9-es kapu volt korábban a leginkább használt teherkapu, azonban a Repülődandárt közvetlen elkerülő Békéscsabai útra való kihajtás fojtópontot jelent nagyobb méretű vagy akár túlméretes szállítmányt tartalmazó menetoszlopok átmenő forgalmára. Ennek távlati képe a 10.8. ábrán látható.

A fenti körülmények miatt az északi, nyugati vagy déli megközelítés vagy elhagyás esetén a közvetlenül a 445-ös útra nyíló 7-es kapu az ideális. Itt az útszakasz rendelkezik külön besorolással, valamint a repülőtérben belül is megoldható a menetoszlop beállítás.



10.8. ábra. A kecskeméti repülőtér 9-es kapujának környezete

Forrás: Google Earth

A 7-es kapu használatakor déli megközelítés vagy elhagyás esetén jelentős foytópontot jelent a 445-ös úton használandó két körforgalom. A szükséges irányokba nincs közvetlen jobbra forduló sáv, a körfogalmak egysávos körpályával rendelkeznek, így kialakításuknál nem vették figyelembe a különösen bonyolult túlméretes járműszerelvények forgalmának lehetőségét. A 44-es útról érkezve az első „repülős” körforgalom rendelkezik közvetlen jobbra forduló sávval, amely támogatja a közvetlenül a repülőtér mellett elhaladó út forgalmát, jelentősen növelve az 1-es és a 9-es kapu használata esetén a torlódás kialakulásának lehetőségét.

Keleti irányú megközelítés vagy elhagyás esetén a 2-es számú kapu használata az ideális, amely közvetlen rácsatlakozást nyújt a 44-es útra. Itt besoroló- vagy gyorsítószal nincsen, így az útszakasz forgalmát megállítja egy menetoszlop érkezése vagy távozása.

Korábban tervben volt ezen kapu közelében egy körforgalom kialakítása, amely a repülődandár átfogó infrastrukturális fejlesztési tervével összhangban volt – lehetővé téve a főbejárat jelentős átalakítását –, azonban ez nem valósult meg, és a 44-es úthálózat ezen szakaszát nem módosították.

Összességében megállapítható, hogy a repülőtér közúti hálózatra való csatlakozása jelenleg megfelelő, elégséges redundanciával rendelkezik, de nagyobb menetoszlopok alkalmazásakor vagy akár már forgalmasabb időszakokban foytópontok jelentkezhetnek.

A közúthálózat fejlesztési lehetőségei, ezek honvédelmi érdekei

A korábbi fejezetekben bemutattuk a meglévő gyorsforgalmi és magasabb rendű úthálózatokat, valamint azt is, hogy ezekhez milyen módon csatlakozik a három katonai repülőtér. Ezen felül általánosságban megfogalmaztuk azokat a követelményeket, amelyekkel ezen úthálózatoknak rendelkezniük kell(ene).

A FÖMTERV Zrt. által vezetett stratégia konzorcium elkészítette a *Nemzeti Közlekedési Infrastruktúra-fejlesztési Stratégiát* (a továbbiakban: Stratégia), amelyet Magyarország Kormánya az 1486/2014 (VIII. 28) Korm. határozattal fogadott el. A Stratégia olyan komplex szakpolitikai dokumentum és vizsgálati rendszer, amely az Európai Unió által megkövetelt összközlekedési szemlélettel, modellezés alapján határozta meg az ország közlekedési koncepción alapuló jövőképét, jövőbeli stratégiáját.³⁶

Ezen Stratégia a teljes országos közlekedési hálózatra vonatkozóan fogalmaz meg fejlesztési irányokat, vizsgálva azok megvalósíthatóságának kockázatát és a társadalomra vonatkozó hasznosságát. Az összes beavatkozási lehetőség felsorolása itt nem cél, de a katonai repülőterek feladatrendszeréből adódó használhatóságának növelése céljául számos közös terület beazonosítható.

Melyek azok a területek, ahol a jelenleg meglévő úthálózatot fejleszteni kellene a követelmények teljesítéséhez?

- A magasabb rendű utak térképét áttekintve az igények ismeretében látható, hogy szükség van a Nagykanizsa–Mohács–Szeged–Békéscsaba–Debrecen, valamint a Sopron–Szombathely–Pápa–Székesfehérvár–Dunaújváros–Kecskemét–Szolnok–Füzesabony, azaz a nem budapesti sugárirányú gyorsforgalmi úthálózatra. Ennek kisebb elemei már léteznek, egyes elemek hosszabbítását Magyarország már kezdeményezte,³⁷ de többségükben csak hosszú távú tervekben szerepelnek.
- Az útfelületek állapotának javítása érdekében szükséges az utak rendszeres karbantartása és felújítása. A repedezett, kátyús utak javítása és az aszfalt újraépítése elengedhetetlen. Ehhez kapcsolódóan kiemelten fontos, hogy az ilyen jellegű munkálatok megkezdését megelőzően az érintett katonai alakulatot tájékoztassák a várható karbantartási munkákról. Például a kecskeméti repülőbázis esetében többször megtörtént, hogy a főbejáráthoz

³⁶ FÖMTERV [é. n.].

³⁷ Government of Hungary 2012.

vezető útszakaszon több alkalommal a helyi útkezelő részleges útfelújítást kezdett, vagy csak forgalmi korlátozást vezetett be, és ezekről a katonai szervezetet vagy a honvédelmi tárcát nem tájékoztatta.

- Intelligens közlekedési rendszereket (*Intelligent Transportation System, ITS*) kellene bevezetni,³⁸ amelyek valós idejű forgalmi adatokat és közlekedési információkat nyújtanak, segíthetnek a forgalom folyamatosságának biztosításában.
- Valós idejű forgalomfigyelő rendszereket kellene telepíteni, amelyek lehetővé teszik a forgalom folyamatos ellenőrzését és irányítását, valamint adaptív jelzőlámpákat, amelyek automatikusan alkalmazkodnak a forgalmi helyzetekhez, és minimalizálják a várakozási időt.
- Valós idejű információs rendszereket kell telepíteni, amelyek segítenek a járművezetőknek a forgalmi helyzetek és útvonalak megismerésében. Ezen rendszerek *monitoringvégpontjait* a katonai szervezetek közlekedési-irányító csoportjaihoz be kell kötni, hogy valós idejű információk állandóan rendelkezésre álljanak. Ezenfelül biztosítani kell katonai igények alapján az ezen rendszerekbe történő beavatkozást, például szükség esetén útszakaszokról a forgalom elterelését, forgalmi sávokban a polgári forgalom korlátozását.
- Az utakat szélesíteni kell több sáv kialakításával, hogy biztosítsák a nagyobb forgalom kezelését.
- Kerülőutakat és alternatív útvonalakat kell kialakítani, amelyek elkerülik a városi forgalmat, és csökkentik a forgalmi dugók kockázatát.
- Ki kell építeni az intermodális közlekedési kapcsolatokat, amelyek integrálják a közúti és vasúti szállítást.
- Különleges útvonalakat kell kijelölni a konvojok számára, amelyek minimalizálják a polgári forgalommal való érintkezést, és biztosítják a gyors haladást.
- Át kell alakítani a körforgalmakat, hogy jobban segítsék a forgalom irányítását és a torlódások elkerülését.

Az előzőekben felsorolt követelmények teljesítéséhez álláspontunk szerint az alábbi fejlesztések szükségesek lennének a három katonai repülőtér elérésének zavartalan biztosításához, valamint abban az esetben, ha a jelenlegi infrastruktúra valamilyen célzott támadás vagy véletlen baleset folytán megsérül.

³⁸ TOMASCHEK [é. n.].

MH 47. Bázisrepülőtér



10.9. ábra. A pápai repülőtér mellett elhaladó 8305-ös
út 2×2 sávossra szélesítendő szakasza

Forrás: Google Earth

A repülőtér bejáratánál elhaladó 8305-ös út 83-as főútba történő becsatlakozásáig vagy legalább a repülőtér bejáratának 1 km-es körzetében az útszakaszokat 2×2 sávossra kellene kiszélesíteni (10.9. ábra).

A Szombathellyel való közúti összeköttetést biztosító 834-es és 88-as másodrendű főútvonal, majd Sárvártól elágazva a 88-as vagy a 84-es út E65 (helyi M86) autópályába történő csatlakozásáig a teljes útszakasz túlméretes szállítmányok forgalmára történő bővítési lehetőségét felül kell vizsgálni.

MH Kiss József 86. Helikopter dandár

- A repülőtéri bekötőút mellé teljes hosszában leállósávot lehetne kialakítani.
- A 442-es útról még legalább egy, a repülőtértől délnyugatra elhelyezkedő, megfelelő csomóponttal rendelkező behajtási lehetőséget lehetne kialakítani a 10.10. ábrán látható helyszínen.

A repülőtéri bekötőúttól a 442-es, jelenleg 2×1 sávós másodrendű főutat egészen a 4-es főútba történő becsatlakozásáig 2×2 sávossra lehetne kiszélesíteni. Ennek alternatív, de mindenben megfelelő megoldása lenne a Szolnok településrendezési tervében szereplő, 442-es út elkerülő szakaszának megépítése [lásd Szolnok Megyei Jogú Város Közgyűlésének 246/2017. (IX. 28.) számú közgyűlési



10.10. ábra. A szolnoki repülőtér mellett kialakítandó csomópont helyszíne

Forrás: Google Earth

határozata Szolnok Megyei Jogú Város Integrált Városfejlesztési Stratégiájának módosításáról].

MH vitéz Szentgyörgyi Dezső 101. Repülődandár

A Békéscsabai út repülőtér mellett elhaladó szakaszának használatát kizárólag a repülőtérre közlekedő célforgalom számára kellene engedélyezni.

A 445-ös utat teljes hosszában, valamint a 44-es út repülőtér és 5-ös főút közötti szakaszát 2×2 sávra kellene kiszélesíteni, ezzel egy időben a 445-ös úton a repülőtér mellett lévő két körforgalmat megfelelően bővíteni.

A 445-ös út 7. kapuhoz közeli szakaszán:

- északnyugati irányból a bekanyarodáshoz kialakított besorolósávot meg kellene hosszabbítani;
- délkeleti irányból a bekanyarodáshoz külön kanyarodósávot kellene kialakítani;
- a kifordulásnál külön gyorsításávot kellene kialakítani.

A 44-es úton az 1. kapu mellett eredetileg tervezett körforgalmas csomópontot lehetne kialakítani, valamint a 2. kapu melletti részén elkülönített bekanyarodó és gyorsításávokat, szélesíteni lehetne az útszakaszt.

Összegzés és következtetések

Korábban Magyarországon számos katonai repülőtér volt, amelyekből mára csak három üzemel. Ezen repülőterek alaprendeltetése, szövetséges környezetben tervezett feladatrendszere különbözik. Ezeken felül a felsorolt repülőterek országon belüli elhelyezkedése és a régiók sajátosságából adódóan a közúti hálózatra való csatlakozásuk felépítésben és minőségben is jelentősen eltér.

Jelen publikációban rámutattunk a magyar közúthálózat szerkezeti (mátrixos) felépítési jellemzőire és az ebből adódó hiányosságokra. Kiemeltük annak fontosságát, hogy a repülőterek közúti csatlakozása ne veszélyeztesse a katonai objektumok biztonságát és védelmét. Javaslatokat fogalmaztunk meg mindhárom repülőtér vonatkozásában, hogy hogyan lehetne javítani a repülőterek körüli közúti hálózat infrastruktúráját. Javasoltuk az utak karbantartását, bővítését vagy speciális igényeket kielégítő új utak építését. Megvizsgáltuk, hogyan lehetne a legújabb technológiai fejlesztésekkel optimalizálni a közúti hálózatot, például intelligens közlekedési rendszerek vagy más innovatív megoldások alkalmazásával. A korábbiak figyelembevételével olyan fejlesztési javaslatokat fogalmaztunk meg, amelyek a jelenlegi feladatrendszer végrehajtását nagyban segítenék, esetleges expedíciós feladatok gyors támogatását tennék lehetővé, valamint mindezekhez a jelenlegi közúti rendszerben megfelelő redundanciát eredményeznének.

Felhasznált irodalom

- 141/1995. (XI. 30.) Korm. rendelet a légiközlekedésről szóló 1995. évi XCVII. törvény végrehajtásáról 1995. évi XCVII. törvény a légiközlekedésről
- 26/2021. (VI. 28.) ITM rendelet az ütügyi igazgatásról
- Az Európai Parlament és a Tanács 1692/96/EK határozata. Online: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31996D1692:EN:HTML>
- Az Európai Parlament és a Tanács 884/2004/EK határozata. Online: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:167:0001:0038:EN:PDF>
- 24.hu (2012): Polgári teherszállítást is végeznének a pápai reptéren. 24.hu, 2012. október 30. Online: <https://24.hu/belfold/2012/10/30/polgari-teherszallitast-is-vegeznenek-a-papai-repteren/>
- A kecskeméti repülőtér története [é. n.]. Online: https://honvedelem.hu/files/files/57939/a_kecskemeti_repuloter_tortenete.pdf
- BALOGH Gábor (2020): A Trianon-trauma II. 1914–1920 Első Világháborús Centenárium Emlékbizottság, 2020. május 15. Online: http://elsovilaghaboru.com/tortenete/cikk/a_trianon_trauma_ii
- BOLDIZSÁR Adrienn – LELKES Zoltán (2019): A kecskeméti vegyes felhasználású repülőtér SWOT-analízise a személyszállítás szemszögéből. *Gradus*, 6(1), 63–69. Online: https://real.mtak.hu/109557/1/2019_1_ENG_003_Boldizsar.pdf

- European Commission (2013): *New EU Transport Infrastructure Policy – Background* (2013. október 17.). Online: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/MEMO_13_897
- European Commission (2021): *TEN-T Core Network Corridors Schematic Map*. Online: https://ec.europa.eu/transport/infrastructure/tentec/tentec-portal/site/maps_upload/SchematicA0_EU-corridor_map.pdf
- FÖMTERV [é. n.]: *Nemzeti Közlekedési Infrastruktúra-fejlesztési Stratégia*. Online: www.fomterv.hu/hu/node/554
- Government of Hungary (2012): *European Agreement on Main International Traffic Arteries (AGR)*. Online: <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2012/sc1/ECE-TRANS-SC1-2012-2e.pdf>
- GY. FEKETE István (2008): A katonai repülés hetven éve Szolnokon (1938–2008). *Repüléstudományi Közlemények*, 20(1). Online: https://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2008_cikkek/Fekete-Istvan.pdf
- GYÖMBÉR Béla (2020): A MH Pápa Bázisrepülőtér felújítása. *Jogalappal*, 2020. november 13. Online: <https://jogalappal.hu/a-mh-papa-bazisrepuloter-felujitasa/>
- HALÁSZ Péter (2005): Múlt és jelen a kecskeméti és a pápai repülőtéren. *Honvédségi Szemle*, 59(8), 119–126.
- Honvédelem.hu (2022a): Magyar Honvédség 47. Bázisrepülőtér. *Honvédelem*, 2022. december 21. Online: <https://honvedelem.hu/alakulat/magyar-honvedseg-47-bazisrepuloter.html>
- Honvédelem.hu (2022b): Magyar Honvédség Kiss József 86. Helikopterandár. *Honvédelem*, 2022. december 21. Online: <https://honvedelem.hu/alakulat/magyar-honvedseg-kiss-jozsef-86-helikopterdandar.html>
- Honvédelem.hu (2022c): Magyar Honvédség vitéz Szentgyörgyi Dezső 101. Repülőandár. *Honvédelem*, 2022. december 21. Online: <https://honvedelem.hu/alakulat/magyar-honvedseg-vitez-szentgyorgyi-dezso-101-repulodandar.html>
- Honvedelem.hu / MTI (2012): Civil és katonai gépek fogadására alkalmas repülőtér lesz a pápai bázisból. *Honvédelem*, 2012. október 26. Online: <https://honvedelem.hu/hirek/hazai-hirek/civil-es-katonai-gepek-fogadasara-alkalmas-repuloter-lesz-a-papai-bazisbol.html>
- JETfly (2010): Magó Károly: A szolnoki repülőtér története. *JETfly*, 2010. augusztus 23. Online: www.jetfly.hu/mh-86-szolnok/6541-mago-karoly-a-szolnoki-repuloter-tortenete
- JUHÁSZ, Oszvald Viktor (2024): Studying the Possibility of Joint Usage of Military Airbases from Logistics' Point of View. *Katonai Logisztika*, 32(1–2), 129–149. Online: https://epa.oszk.hu/02700/02735/00100/pdf/EPA02735_katlog_2024_01-02_129-149.pdf
- Kelepisti (2020): Múlt, jelen, jövő – Médianap a Szolnoki Helikopterbázison. *Military – Technology*, 2020. október 7. Online: https://military-technology.blog.hu/2020/10/07/mult_jelen_jovo_medianap_a_szolnoki_helikopterbazison
- KESZTHELYI Gyula (2014): A katonai repülőterek közös polgári-katonai hasznosításának nemzetközi tapasztalatai, a magyarországi lehetőségek. *Katonai Logisztika*, 22(1), 40–58. Online: https://epa.oszk.hu/02700/02735/00077/pdf/EPA02735_katonai_logisztika_2014_1_040-058.pdf
- MAGÓ Károly (2017): A szolnoki katonai repülőtér története 1938–1945. In CSÖNGE Attila – POZSGAI Erika – SZABÓNÉ Maslowski Madlen (szerk.): *Zounek. Magyar Nemzeti Levéltár Jász-Nagykunszolgai Megyei Levéltára Évkönyve 31*. Szolnok: Magyar Nemzeti Levéltár Jász-Nagykunszolgai Megyei Levéltára, 127–157.
- Magyar Köztársaság [é. n.]: *Az állami köztársaságról*. Online: <https://internet.kozut.hu/kozerdeku-adatok/orszagos-kozuti-adatbank/az-allami-koztarsasagrol/>

- MTI (2022): Magyarország hozzájárult, hogy az Európai Unió fegyvereket szállíthasson Ukrajnába, de a kormány ebben kétoldalú alapon nem vesz részt, és nem engedélyezi halált okozó fegyverek átszállítását hazánk területén – jelentette be a tárca közleménye szerint Szijjártó Péter külügyi és külügyminiszter hétfőn Pristinában. *Magyarország Kormánya*, 2022. február 28. Online: <https://kormany.hu/hirek/szijjarto-peter-nem-engedelyezzuk-halalt-okozo-fegyverek-atszallitast-magyarorszag-teruleten>
- NAGYVÁRADI Sándor – M. SZABÓ Miklós – WINKLER László (1986): *Fejezetek a magyar katonai repülés történetéből*. Budapest: Műszaki Könyvkiadó.
- PÁHY Anna (2022): Szelíd sárkányok és repülő hajók. *Honvédelem*, 2022. szeptember 6. Online: <https://honvedelem.hu/hirek/szelid-sarkanyok-es-repulo-hajok.html>
- PIROS György (2019): Május 1.: A Magyar Királyi Honvéd Légierő 101. vadászrepülő ezred születésnapja. *Vészpremi Szemle*, 21(2), 127–143. Online: https://epa.oszk.hu/03000/03021/00014/pdf/EPA03021_veszpremi_szemle_2019_2_127-143.pdf
- SÁGI László (1997): Német műszerrepülő tanfolyam Szolnokon. *Magyar Szárnyak*, 25(25), 8–9.
- SZABÓ Ákos (2023): Nem mindennapi feladatokat oldott meg a FŐMTERV a 83-as főút megtervezéséhez. *Magyar Építők*, 2023. szeptember 29. Online: <https://magyarepitok.hu/utepites/2023/09/nem-mindennapi-feladatokat-oldott-meg-a-fomterv-a-83-as-fout-megtervezesehez>
- SZÓRÁD Tamás (2013): Paplanok, kupolák, katonák. *Air Base*, 2013. május 31. Online: https://airbase.blog.hu/2013/05/31/paplanok_kupolak_katonak
- TOBAK Tibor (1999): A „DONGÓ” sztori II. *Top Gun*, 10(6), 22–25.
- TOMASCHEK Tamás Attila [é. n.]: *Intelligens közlekedési rendszerek (ITS)*. Budapest: Magyar Mérnöki Kamara. Online: www.fomterv.hu/mmk/sites/default/files/20_Inteligens%20kozlekedesi_rendszerek ITS_Tomaschek_Tamas.pdf
- TÓTH Bence (2019): A magyarországi vasúthálózat redundanciáját biztosító vonalszakaszok. *Hadmérnök*, 14(2), 74–86. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2019.2.6>
- VÁNDOR Károly (2009): *Légierő társbérletben I.* Budapest: VPP.
- VARJU Kitti (2020): Fejlesztésekkel teli jövő elé néz a pápai bázisrepülőtér. *Honvédelem*, 2020. június 10. Online: <https://honvedelem.hu/hirek/a-magyar-honvedseg-parancsnokanak-helyettese/fejlesztésekkel-teli-jovo-ele-nez-a-papai-bazisrepuloter.html>
- VEÉR Jenő (2021): Vegyes üzemelésűre fejlesztik a pápai repülőteret. *Az Utazó Magazin*, 2021. március 9. Online: <https://azutazo.hu/vegyes-uzemelesure-fejlesztik-a-papai-repuloteret/>
- Wikimedia Commons (2009): Pan-European Corridors. *Wikipedia*, 2009. február 3. Online: <https://w.wiki/CtEW>
- Wikimedia Commons (2024): Magyarország autópályái, autóútjai, gyorsforgalmi útjai és kiemelt útjai. *Wikipedia*, 2024. január 17. Online: <https://w.wiki/CtEJ>
- ZSÁKAI Tibor (2020): A trianoni békeszerződés és a magyar vasút. *Sínek Világa*, 62(6), 31–38. Online: www.sinekvilaga.hu/a-trianoni-bekeszerzodes-es-a-magyar-vasut?index=4

A pilóta nélküli légi járművek használatának kérdései a sugárzóanyaggal szennyezett bűnügyi és katonai helyszíneken

A pilóta nélküli légi járművek feladatorientált és széles körű alkalmazása világszerte jelen van mind a bűnügyi, mind a katonai helyszínelés során. A drónalkalmazás nem pusztán képi adat rögzítést takar, hiszen a hasznos teher variálhatósága számtalan új lehetőséget kínál például a detektálás, a képalkotás, a szoftveres adatfeldolgozás, a 3D helyszíni rekonstrukció területén is. Rendkívüli előnye, hogy mindezen tevékenységeket folyamatosan nyomon tudjuk követni, tehát nem sérül a bizonyítékok felügyeleti lánc. Ami miatt még rendkívüli a jelentősége, hogy sugárzóanyagok detektálására is képessé tehetjük, így kímélve a helyszínelő szaksemélyzetet, megelőzve a járulékos sugárterhelést. Ugyanakkor ezen technológia alkalmazása feltételezi a kapcsolódó jogszabályok ismeretét és a pilóta nélküli légi járművek használatának ismeretét.

Kulcsszavak: helyszínelés, drónalkalmazás, felügyeleti lánc, sugárzóanyag detektálása UAV alkalmazásával

UNMANNED AERIAL VEHICLE USE ISSUES IN RADIOLOGICAL CONTAMINATED CRIMINAL AND MILITARY CRIME SCENES

The task-oriented and widespread use of unmanned aircrafts is present in both crime scene investigation and military investigation worldwide. Drone applications are not only about image data capture, as the variability of the payload offers countless new possibilities in areas such as detection, imaging, software data processing, 3D scene reconstruction. An extraordinary advantage is that all these activities can be monitored continuously, so that the chain of custody of evidence is not compromised. What makes it even more significant is that it can also be capable of detecting radiological materials, thus sparing forensic personnel and preventing collateral radiation exposure. However, the use of this technology requires knowledge of the relevant legislation and the use of unmanned aircrafts.

Keywords: crime scene investigation for forensics, drone application, chain of custody, radiological material detection using UAV

Bevezetés

Kezdetben inkább a katonai célú alkalmazás volt jellemző, napjainkban pedig egyre inkább előtérbe kerül a polgári alkalmazás is. A rendvédelmi területen történő alkalmazás kezdete a 2000-es évek közepére tehető.¹ Mindazonáltal kijelenthetjük, hogy a pilóta nélküli légi járművek (*Unmanned Aerial Vehicle, UAV*) fejlődése mutatja a legnagyobb dinamikát a repülési szektoron belül. Nagyon nagy potenciál van benne, amit a közszolgálati célok elérésénél figyelmen kívül hagyni felelőtlennek lenne. Pontosan ezt ismerte fel anno a közszolgálati szféra is, így a pilóta nélküli légi járművek már nagyon régóta szolgálnak közcélokat. A pilóta nélküli légi járművek fogalmának meghatározása számos akadályba ütközik, hiszen ahány szerző, annyi fogalom. Az Európai Unió „drónrendelete” szerint idetartozik bármely olyan légi jármű, amely a fedélzetén tartózkodó pilóta nélkül üzemel, vagy amelyet ilyen üzemmódra terveztek, és amely önálló vagy távirányítással történő üzemelésre képes.

A katonai (műveleti) alkalmazás azonban biztosan és élesen elkülöníthető a közszolgálati és a civil felhasználástól. Míg előbbi főleg merev szárnyú gépek alkalmazását jelenti, addig utóbbiak a forgószárnyas konstrukció alkalmazását takarják. Ennek oka, hogy a katonai (műveleti) alkalmazás során sokszor nagy távolságokat kell megtennie az eszköznek, és nincs szükség helyből való felszállásra. Közszolgálati és civil használatnál azonban erre a funkcióra szükség lehet. Jelen cikkünkben kizárólag a forgószárnyas konstrukció bűnügyi és katonai helyszínelői alkalmazhatóságával és a hasznos terhek variálhatóságából adódó előnyökkel és hátrányokkal kívánunk foglalkozni.

Felmerülhet a kérdés, egyrészt, hogy mit is jelent a közszolgálati alkalmazás, másrészt miért jó a közszolgálati szférának a pilóta nélküli légi járművek alkalmazása. A válasz egyszerű. „A közszolgálati alkalmazásokhoz tartoznak az államérdekből folytatott drón repülések. Ezek irányulhatnak valamely szakfeladat hatékonyabb megoldására (például önkormányzati feladatok támogatása, környezetvédelmi célú repülés a parlagfű-szennyezettség felmérésére), illegális tevékenységek megelőzésére, mielőbbi felderítésére, vagy bizonyítékok szerzésére (például rendőrségi alkalmazások), de akár egy-egy veszélyhelyzet megelőzésére, vagy felszámolásának elősegítésére is (például katasztrófavédelmi alkalmazások).”² Arra, hogy miért érdemes alkalmazni ezeket az eszközöket a közszolgálatban,

¹ AMBRÓZY et al. 2022.

² RESTÁS 2017.

számos érvet fel tudunk sorakoztatni, azonban van néhány nyomós érv. Például hogy előerőt, eszközt, időt és költséget lehet vele spórolni, vagyis biztonságos, gyors, olcsó és hatékony. Pontosan ezek a tulajdonságok adják a kereskedelmi és hobbicélú pilóta nélküli légi járművek fejlesztésének potenciálját is.

Jelen cikkben a katonai és a közszolgálati alkalmazáson belül kizárólag a bűnügyi és a katonai helyszínelés során a pilóta nélküli légi jármű alkalmazhatóságával kívánunk foglalkozni. Ehhez azonban először tisztázni kell a szemle fogalmát. A büntetőeljárás törvény 206. §-a szerint eljárási cselekmény. Míg a 207. § leírja, hogy mikor kell szemlét tartani. „Ha a bizonyítandó tény megismeréséhez vagy megállapításához személy, tárgy vagy helyszín megtekintése, illetve tárgy vagy helyszín megfigyelése szükséges.”³ „A szemlén fel kell kutatni és össze kell gyűjteni a tárgyi bizonyítási eszközöket, és gondoskodni kell a megfelelő módon történő megőrzésükről. A szemle alkalmával a bizonyítás szempontjából jelentős körülményeket részletesen rögzíteni kell, így különösen a szemletárgy felkutatásának, összegyűjtésének menetét, módját, helyét és állapotát. A tárgyi bizonyítási eszközök felkutatása, rögzítése és biztosítása során úgy kell eljárni, hogy az eljárási szabályok megtartása utólag is ellenőrizhető legyen.”⁴ Vagyis lehetőség szerint a legtöbb bizonyítékot be kell gyűjteni, jegyzőkönyvben rögzíteni kell, mindezt úgy, hogy a bizonyítékok felügyeleti láncát (*Chain of Custody*) végig meg kell tartani.

Ennek a tevékenységnek a hatékony végrehajtásához megfelelően képzett szakszemélyzetre van szükség, mert ott célszerű helyszíni szemlét tartani, ahol van mit keresni, vagyis ahol fellelhetők cselekményre utaló nyomok és anyagmaradványok.⁵ Ahhoz, hogy ez a tevékenység elérje a célját, olyan helyszínelőkre van szükség, akik mindig elfogulatlanok, nem sémák alapján keresnek, ugyanakkor szisztematikusan vizsgálják át a helyszínt. Tisztában vannak vele, hogy a negatív nyom is nyom.⁶ Vagyis ami nincs ott, de ott kellene lennie, illetve ami már nincs ott, de ott volt, sokszor többet mond, mint a jelen lévő nyom.⁷ Tehát a helyszínelés akkor éri el maximálisan a célját, ha magasan kvalifikált, elfogulatlan szakembergárdával rendelkezünk, valamint jól felszerelt technikai eszközparkkal és jogszabályok, illetve szakmai szabályzók által jól körülhatárolt eljárásrenddel.⁸

³ 2017. évi XC. tv. 206. §.

⁴ 2017. évi XC. tv. 207. §.

⁵ BENKŐ–HUSZÁR–SZILVÁSY 2005.

⁶ DOBOS 1964.

⁷ FENYVESI 2016.

⁸ KAKUJA 2024.

A helyszíni szemlén figyelemmel kell lennünk a fizikai bizonyítékok mellett a digitális bizonyítékokra is.

Továbbá, míg a bünygyi helyszíni szemlét a büntetőeljárás törvény jól körülírja és a cél az elkövető elfogása, a bűncselekmény bizonyítása, addig a katonai helyszínelés a parancsnoki döntés támogatására fókuszál. Például egy támadás után hadszíntéri helyszínelő csoport (*Weapons Intelligence Team, WIT*) érkezik a helyszínre, és igyekszik begyűjteni a lehető legtöbb bizonyítékot, amelyeket majd az összhaderőnemi, műveleti területre telepíthető bünygyi labor fog vizsgálni.⁹ A kapott eredményekkel segítik a parancsnokok döntéshozatalát, a műveleti területen szükséges eseti felkészítést és kiképzést, bővítik a műveleti adatbázist, így támogatva akár a befogadó nemzet büntetőeljárásait.¹⁰ Vagyis míg az eszközpark, a képzettség és a technika hasonló, addig a cél teljesen más. („A Magyar Honvédség katonai helyszínelői is a ROKK által vezetett tanfolyamot végzik el,¹¹ így már ott elsajátíthatják, hogyan kell a legtöbb bizonyítékot, adatot szűk időablakban begyűjteni, amely képeség előnyükre válik a műveleti területen történő munkavégzés során.”)¹²

A pilóta nélküli légi járművek használata a helyszínelésben

Napjainkban elmondható, hogy a humán erőforrás, azaz az ember életének és egészségének védelme felértékelődött. Nincs ez másképp a katonai és a rendőrségi szakszemélyzet esetén sem. A helyszínelők munkabiztonságának szavatolása előtérbe került, és így a pilóta nélküli légi járművekkel végzett felderítések is, mivel ez az eszköz képes garantálni ezt, tekintve, hogy a helyszínelő szakszemélyzetnek nem kell az esetlegesen veszélyes anyagokkal, CBRN-anyagokkal terhelt környezetben vagy más hasonlóan magas egészségügyi kockázatot jelentő körülmények között (például omlásveszélyes környezet) elvégezni a helyszín bejárását, a helyszínelési szakfeladatot és a bizonyítékok begyűjtését. Ahhoz, hogy a helyszíneken a helyszínelők részére feladatot lehessen meghatározni, szükséges az egészségükre ártalmas veszélyforrásokat számba venni és biztosítani részükre a szükséges egyéni védőeszközt és a biztonságos munkavégzéshez szükséges összes rendelkezésre

⁹ PADÁNYI–FÖLDI 2015.

¹⁰ TAKÁCS 2022.

¹¹ Police.hu 2015.

¹² KAKUJA 2022.

álló egyéb eszközt. A pilóta nélküli légi járművek ebben is jelentős és hatékony segítséget képesek nyújtani.

Vegyük csak az alapképességeket! Általában ezek az eszközök kamerákkal szereltek, vagyis képesek élő képet közvetíteni és rögzíteni eseményekről, helyszínekről vagy akár a helyszínen zajló folyamatokat is képesek képi formában dokumentálni. Ennek különösen akkor van jelentősége, ha például akár a helyszínelés során, akár a helyszíni rekonstrukció során a szakszemélyzet váratlan akadályba ütközik. Például amikor a helyszínre történő bejutás lehetetlen (víz alá került a cselekmény helye vagy a helyszín egy leégett épület, ahova a bejutás aránytalan nehézséggel járna vagy életveszélyes volta miatt lehetetlen), ugyanakkor az idő múlásának jelentősége van bizonyítási szempontból. Napjainkban már lehetőség van pilóta nélküli légi jármű segítségével a levegőből akár milliméteres pontosságu felmérést készíteni a bűnügyi helyszínekről. Ugyanez igaz a katonai helyszínekre is. Továbbá szintén lehetőség van képeket, videófelveteleket készíteni, de itt számolni kell az emberi pontatlansággal is, és ezeket célszerű és szükségszerű is korrigálni annak érdekében, hogy bizonyítékként a későbbi eljárásban fel tudjuk használni. Ennek egyik módja lehet a nem túl távoli jövőben a mesterséges intelligencia (MI) által készített 3D modellek alkalmazása, amelynek alapját a pilóta nélküli légi járművek által készített képek, videófelveletek fogják alkotni. Ezzel utat nyithatunk majd a felügyeleti lánc (*Chain of Custody*) biztosításának egy magasabb lépcsője felé, hiszen nem kell majd attól tartani, hogy a helyszínen valamit nem megfelelően rögzítettek, vagy azt az újabb vizsgálat előtt valaki megváltoztatta. Egy másik módszer a pilóta nélküli légi járművekre szerelhető speciális eszközök alkalmazása, például a lézeres távérzékelőkkel, távmérőkkel pontosan le lehet tapogatni akár katonai, akár bűnügyi helyszíneket, vagy háromdimenziós (3D) térképet lehet azokról készíteni.¹³

Nem kizárólag ezek a lehetőségek, bár kétségkívül a leggyakrabban használt eszközök. A mai világban különösen felértékelődött a vizualitás és a lehető legtöbb információ megszerzése (információéhség).

Fontos beszélnünk a pilóta nélküli légi járművekre hasznos teherként szerelhető hőkamerákról, termokamerákról is. Amennyiben pusztán a helyszínelés előkészítése során való jelentőségét nézzük, akkor is ki kell emelnünk, hiszen remek támpontot nyújthatnak arra nézve, hogy van-e élő személy a helyszínen, vagy akár csak a hőterképet vizsgálva láthatóvá válnak rejtett helyiségek vagy esetleg illegális hőtermelő funkcióval bíró tevékenységek. Bár a hőterképezés nem kifejezetten

¹³ AMBRÓZY et al. 2022.

A levegőből végzett radiológiai felderítés előnyei és hátrányai

A drónok használata a légi sugárfelderítés során számos előnnyel és hátránnyal jár. Az alábbiakban összefoglaljuk ezeket.

Előnyök

- Költséghatékonyság:
 - A drónok jelentősen olcsóbbak, mint a hagyományos repülőgépek vagy helikopterek, mind beszerzés, mind üzemeltetés szempontjából.
 - Kevesebb üzemanyagra és karbantartásra van szükség, ami csökkenti az összköltségeket.
- Hozzáférhetőség:
 - Drónokkal nehezen megközelíthető vagy veszélyes területek is elérhetők, ahol az emberi jelenlét kockázatos lenne.
 - Gyors bevetethetőség és mobilitás, amely lehetővé teszi a sürgős bevetéseket is.
- Adatgyűjtési pontosság:
 - Drónokkal részletes, magas felbontású adatokat lehet gyűjteni, és alacsonyabb magasságban repülhetnek, így jobb felbontású képeket és adatokat biztosítanak.
 - Lehetőség van valós idejű (*real-time*) adatgyűjtésre és -elemzésre, ami gyors döntéshozatalt tesz lehetővé.
- Biztonság:
 - A drónokkal végzett sugárfelderítés során nem szükséges emberi jelenlét sugárveszélyes környezetben, ami csökkenti az egészségügyi kockázatokat.
- Sokoldalúság:
 - A drónok különféle érzékelőkkel és kamerákkal szerelhetők fel, így különböző típusú sugárzásokat észlelhetnek, és a gyűjtött adatokat többféle módon lehet felhasználni.
 - A sugárfelderítéshez használt drónfelépítmény elgondolásunk szerint tipikus processzor- és szenzorkészlete, amely a feladat sajátosságainak megfelelően adatgyűjtő-vezérlő modulból (mikrokontroller), általános levegőállapot-mérő szenzor(ok)ból (relatív páratartalom, légnyomás,

hőmérséklet, barometrikus magasság), pozíciómeghatározó GPS-vevőből és szcintillációs dózisteljesítmény-mérő és gammaspektrumot szolgáltató detektorból áll.

Hátrányok

- Korlátozott repülési idő:
 - A legtöbb drón akkumulátoros üzemelésű, ami korlátozza a repülési időt és a lefedett területet. Nagyobb területek felderítéséhez több repülésre van szükség.
- Külső tényezők hatása:
 - Az időjárási körülmények, mint például az erős szél, az eső vagy a hó, jelentősen befolyásolhatják a drón működését és adatgyűjtési képességét.
 - A drónok hatótávolsága és magassága korlátozott, ami befolyásolhatja a lefedettséget és az adatok minőségét.
- Adatbiztonsági kérdések:
 - A drónok által gyűjtött adatok sérülékenyek lehetnek kibertámadásokkal szemben, ha nem megfelelően biztosítják őket.
 - A drón elvesztése vagy meghibásodása esetén az összegyűjtött adatok elveszhetnek.
- Szabályozási korlátok:
 - Számos országban szigorú szabályok vonatkoznak a drónok használatára, különösen ha azokat lakott területek felett vagy érzékeny helyszíneken alkalmazzák.
 - A repülési engedélyek és a légtérhasználati szabályok betartása időigényes lehet.
- Korlátozott teherbírás:
 - A drónok teherbírása korlátozott, így nem mindig képesek nagyobb vagy nehezebb érzékelőket szállítani, ami korlátozhatja a felderítés típusát és hatékonyságát.
 - Azért ez a pont, amely nagyon sok repülő drónnal végzett műveletben korlátozó tényező, itt kicsit árnyaltabban kezelendő. Természetesen, az utóbbi években, főleg a környezettudományi és a geofizikai gyakorlatban elterjedt nagy tömegű (60–80 kg), többkristályos (4–6 db) szcintillációs detektorok alkalmazása, ahol az érzékenység elsősorban a „nyers erő” eredménye, a drónok teherbírása valóban korlátozott,

azonban kis magasságból (30 m alatt) végzett kis sebességű (20 km/h alatti) műveletekhez alkalmas felépítményt már viszonylag kis tömegben (<7 kg) is össze lehet csomagolni.

Összességében a drónok alkalmazása a légi sugár- (radiológiai) felderítésben jelentős előnyöket kínál, különösen a költséghatékonyság és a biztonság szempontjából. Azonban a technológia korlátai és a szabályozási környezet figyelembevétele szükséges a hatékony alkalmazás érdekében. Ez azonban elkerülhető a pilóta nélküli légi jármű által készített adatok elemzésével tervezett helyszíni feladat kiosztással.

Javaslatok

A pilóta nélküli légi járművek üzemeltetését és fejlesztését előtérbe kell helyezni. Maga az eszköz által készített anyagok elemzéséhez célszerű MI-t alkalmazni. Ezek együttes fejlesztése lehet egy jövőbeni széles körű, hatékony alkalmazás alapja, amely hosszú távon a fentiekén túl gyorsan és költséghatékonyan fog működni.

Összefoglalás

Megállapítható, hogy a pilóta nélküli légi járművek használatának igenis szerepe van a helyszínelésben, függetlenül attól, hogy katonai vagy bünygyi helyszínelésről beszélünk. Használatuk segít csökkenteni a veszélyeket és segíti a szakszemélyzet életének, egészségének védelmét, valamint nagyban hozzájárul a munkabiztonsághoz. Továbbá alkalmazásukkal sok adathoz juthatunk rövid idő alatt, ami a feladat tervezését segíti. Ugyanakkor célszerű a pilóta nélküli légi járművek fejlesztése akár MI-vel együtt, hogy a nagy adatmennyiséget hatékonyan használjuk fel. A fejlesztéssel a költséghatékonyság is megvalósulhatna.

Felhasznált irodalom

2017. évi XC. törvény a büntetőeljárásról

AMBRÓZY Dorián et al. (2022): Drónok alkalmazása a rendvédelemben, különös tekintettel a mesterséges intelligencia-módszerekre a dróntechnológia területén. *Rendvédelem*, 11(2), 33–47. Online: <https://doi.org/10.53793/RV.2022.2.3>

- BENKŐ András – HUSZÁR András – SZILVÁSY István (2005): Korszakváltás a helyszíni gyorsdiagnosztikában. In HAUTZINGER Zoltán (szerk.): *Pécsi Határőr Tudományos Közlemények IV. Tanulmányok a „Határőrség a minőség útján” című tudományos konferenciáról*. Pécs: Magyar Hadtudományi Társaság Határőr Szakosztály Pécsi Szakcsoportja, 255–256. Online: <http://pecshor.hu/periodika/2005/benko.pdf>
- CSURGAI József (2022): Drónra szerelhető radiológiai modul fejlesztési koncepció, hardveres felépítés és nukleáris méréstechnikai alapok. *Repüléstudományi Közlemények*, 34(3), 181–202. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2022.3.12>
- DOBOS János (1964): Negatív körülmények a helyszínen. *Belügyi Szemle*, 2(1), 54–59.
- FENYVESI Csaba (2016): Bűnügyi sakkjátszma a kriminalisztikai princípiumok tükrében. *Belügyi Szemle*, 64(11), 40–57. Online: <https://doi.org/10.38146/BSZ.2016.11.2>
- KAKUJA Izabella (2022): Unikális magyar módszer a radiológiai helyszínelésben. *Haditechnika*, 56(5), 58–62. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.56.5.11>
- KAKUJA, Izabella (2024): Data Extraction During CBRN Crime Scene Investigation. *Safety and Security Sciences Review*, 6(1), 79–85.
- PADÁNYI, József – FÖLDI, László (2015): Tasks and Experiences of the Hungarian Defence Forces in Crisis Management. *Sodobni vojaški izzivi / Contemporary Military Challenges*, 17(1), 29–46. Online: <https://doi.org/10.33179/BSV.99.SVI.11.CMC.17.1.2>
- Police.hu (2015): Az Országos Rendőr-főkapitányság és a Honvédelmi Minisztérium között kötött együttműködési megállapodás (2015. szeptember 14.). (2015). *ORFK Tájékoztató (OT)*, (17), 2015. szeptember 15. Online: www.police.hu/sites/default/files/ot_17_0.doc
- RESTÁS Ágoston (2017): A drónok közszolgálati alkalmazásának lehetőségei. *Új Magyar Közigazgatás*, 10(3), 49–63. Online: https://kozszov.org.hu/dokumentumok/UMK_2017/3/05_Dronok_a_kozszolgalatban.pdf
- TAKÁCS Vivien (2022): A Magyar Honvédség helyszínelői. *Honvédelem*, 2022. április 25. Online: <https://honvedelem.hu/hirek/a-magyar-honvedseg-helyszineloi.html>

A magyarországi villamosenergia-rendszer alaphálózati sérüléseinek hatása az ország nemzetközi energiafüggőségére

A villamosenergia-hálózat az egyes országok működésének alap-infrastruktúráját jelenti, hiszen napjainkban szinte minden árammal működik. Emiatt rendkívül fontos esetleges különleges jogrendi időszak esetén az energiatermelés önellátására felkészülni. Ezért kérdésként merül fel, hogy Magyarország egyáltalán elő tudja-e a jelenlegi erőművi kapacitásával állítani azt a mennyiségű villamos energiát, amely ehhez szükséges. Tanulmányunkban számba vesszük a nyilvánosan elérhető források alapján az ország erőművi helyzetét, az export- és importadatok, valamint termelési és fogyasztási adatok alapján pedig megvizsgáljuk az önellátás biztosítottóságát.

Kulcsszavak: villamos energia, áram, erőmű, export, import, fogyasztás

THE EFFECT OF THE DISRUPTIONS OF THE ELECTRIC POWER CORE NETWORK OF HUNGARY ON THE INTERNATIONAL ENERGY DEPENDENCE OF THE COUNTRY

The electric power network is probably the most fundamental infrastructure of a country, since nowadays almost everything depends on electricity. Therefore, it is of crucial importance to be prepared for self-supply in a case of national emergency. Thus, the question arises if Hungary can produce the amount of electricity needed for this with the present capacity of its power plants. In our paper, by using publicly available sources, we survey the power plant situation of Hungary, the export and import data as well as the data regarding the production and consumption and by these we analyse the possibility of self-supply.

Keywords: electric power, electricity, power plant, export, import, consumption

Bevezetés

Modern nyugati technikai társadalmunk egyre égetőbb problémája (a vízhiány mellett) a fokozódó energiafüggőség. Évről évre több energiát használunk fel, aminek látványos szelete a korábban alacsonyabb nyári villamosáram-fogyasztás szintjének a téli értékkel való kiegyenlítődése a légkondicionáló berendezések elterjedtével. Ezen fokozódó energiafelhasználást újabb erőművek építésével,

illetve importból próbáljuk fedezni (bár ez utóbbi szintén erőművek meglétét feltételezi, csak külföldön). Magyarország energiatermelésében még mindig túlnyomórészt a fosszilis energiahordozókra alapuló erőművek adják a termelés jelentős részét, több mint 85%-át.

Ahogy azonban például 2009 januárjában Oroszország és Ukrajna gázvitája miatt (Oroszország nem adott el Ukrajnának földgázt, de Ukrajna a területén áthaladó gázvezetéseket megsapolta, és ezért Oroszország gyakorlatilag teljesen leállította az Európába irányuló földgázszállítást) az importfüggés súlyos gazdasági zavarokat okozott, ez a helyzet a villamos áram esetében is előállhat.

2024 első félévében a Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zrt. (a továbbiakban: MAVIR) teljes exportja 8474 GWh, míg teljes importja 10 727 GWh volt 14 968 GWh teljes erőművi termelés mellett,¹ ami azt jelenti, hogy az ország teljes energiafelhasználásának 13%-át importból fedeztük. Magyarország tehát szomszédai energiatermelésétől függ. Ez a körülmény, vagyis hogy nem voltunk önellátók (és esetleg nettó exportőrök), két dolgot jelenthet. Lehetséges, hogy meglenne a szükséges erőművi kapacitás a magyarországi felhasználók igényeinek fedezésére, azonban az így megtermelt áram drágább lenne, mint az importból beszerezhető, ezért jobban megéri külföldről vásárolni, mint magunknak előállítani. Hasonló ez az USA olajtermeléséhez, amelyről piaci elemzők azt prognosztizálták, hogy az elkövetkezendő évtizedekben emelkedni fog, ugyanis sok olyan mező található az országban, amely a jelenlegi technológiákkal nem termelhető ki gazdaságosan, azonban a jövőben a technológia fejlődése (és a jelenlegi mezők kimerülése miatt) meg fogja érni kitermelni azokat a készleteket is.²

A pesszimistább lehetőség, hogy Magyarországnak nincs is meg ahhoz a szükséges erőművi kapacitása, hogy a felhasználói igényeket ki tudja elégíteni; ebben az esetben viszont külföldi kitértegről van szó, ami nemzetbiztonsági kockázatot jelent.

Mivel a villamosenergia-hálózat a létfontosságú rendszerek és létesítmények azonosításáról, kijelöléséről és védelméről szóló 2012. évi CLXVI. tv. alapján létfontosságú rendszerelem [régi nevén kritikus infrastruktúra, lásd 2080/2008 (VI. 30.) Korm. hat. a Kritikus Infrastruktúra Védelem Nemzeti Programjáról], hiszen működőképessége alapvetően befolyásolja az ország működését, ezért az önellátás lehetőségének valójában a rendszer részének kell lennie. Kutatásunkban ezért megvizsgáljuk a fent megfogalmazott kérdést: képes-e a magyar

¹ MAVIR [f].

² Portfolió 2012.

villamosenergia-termelés az önellátásra, meg tudják-e termelni a hazai erőművek az ország fogyasztási igényét?

Célkitűzés

Tanulmányunk célja, hogy áttekintő képet nyújtson a magyar villamosenergia-rendszer önellátási képességéről, különös tekintettel az import és az export arányára, valamint a határmetszéki áramlások szerepére. Ehhez kizárólag nyílt forrásokat használunk fel, ami ugyan némi torzítást ad az eredményekhez, de ez pozitív jellegű torzítás, azaz a valóság a publikusan elérhető adatoknál rosszabb nem lehet. A vizsgálat során felmérjük, hogy Magyarország milyen mértékben támaszkodik külföldi energiaforrásokra, illetve hogy a hazai termelés mennyiben képes fedezni az ország villamosenergia-igényét. Ehhez figyelembe vesszük nemcsak az átlagos fogyasztási igényeket, hanem az időszaki (akár napi szintű) kiugró igényeket is, hogy a kutatás konklúziója ne csak átlagosan, hanem minden időpontra igazolható legyen.

Vizsgálatunk további célja annak megértése, hogy a határkeresztező kapacitásokon keresztüli áramlások milyen hatással vannak a rendszer stabilitására, és hogy egy-egy csatlakozás kiesése milyen mértékben okozna problémát az energiaellátásban, illetve hogy milyen intézkedések szükségesek az ilyen jellegű kockázatok minimalizálásához. Ez magában foglalja annak vizsgálatát is, hogy Magyarország képes-e hosszabb távon csökkenteni importfüggőségét, és milyen lépések szükségesek az önellátás növeléséhez, ezzel biztosítva a rendszer rugalmasságát és megbízhatóságát akár a nemzetközi áramlások kedvezőtlen változásai esetén is.

Adatforrások

A tanulmány alapjául szolgáló adatok a MAVIR nyilvános adatszolgáltatásából származnak. A MAVIR feladata, hogy biztosítsa a villamosenergia-rendszer biztonságos és megbízható működését, továbbá felelős az országos villamosenergia-ellátás egyensúlyáért, a fogyasztás és a termelés folyamatos kiegyenlítéséért, valamint a nemzetközi villamosenergia-kereskedelem hatékony lebonyolításáért. A MAVIR központi szerepet tölt be a magyar villamosenergia-piacon, és felügyeli a hálózati infrastruktúra fenntartását, valamint a villamosenergia-áramlások kezelését a határkeresztező kapacitásokon keresztül. A társaság ezenfelül felelős a rendszerirányítás

és piaci szabályozási feladatok ellátásáért, amelyek elengedhetetlenek a hazai energia-ellátás biztonságának szavatolásához. A MAVIR a közép-európai régióban is jelentős szerepet játszik, együttműködve más országok rendszerirányítóival a határon átnyúló villamosenergia-kereskedelem és a regionális ellátásbiztonság biztosítása érdekében.

Az adatokat a MAVIR hivatalos honlapján (mavir.hu), bizonyos mennyiségek esetében akár perces bontásban teszi folyamatosan elérhetővé, ahonnan azok különböző formátumokban (például XLSX, CSV) letölthetők.³ Ezek az adatok rendkívül sokfélék és részletesek, továbbá átfogó képet nyújtanak a magyar villamosenergia-rendszer működéséről, beleértve a hálózati terhelést, az erőművi termelést, az országos villamosenergia-felhasználást, valamint a határmetszékeken keresztüli áramlásokat. Az adatok átlátható és könnyen kezelhető formátumban állnak rendelkezésre, ami lehetővé teszi azok hatékony feldolgozását és elemzését.

A vizsgálat során használt adatokat több kategóriában gyűjtöttük össze. Ide tartoznak a határmetszéki áramlási adatok, amelyek a tervezett és a megvalósult import- és exportmennyiségeket mutatják.⁴ A rendszerterhelés terv- és tényadatai (bruttó és nettó) az országos fogyasztás és termelés alakulását tükrözik.⁵ Emellett az erőművi termelés és a villamosenergia-felhasználás adatai is alapvető fontosságúak voltak az elemzés során, mivel ezek biztosítják a rendszer kiegyensúlyozottságának és az önellátás szintjének mélyreható vizsgálatát.⁶

Az adatok időbeli felbontása fontos szempont volt a kutatás során. Az adatokat 2019. január 1-jéig visszamenőleg gyűjtöttük egyórás bontásban, amely elegendő részletességet biztosít a tendenciák és a minták elemzéséhez, elkerülve a túlságosan részletes, nehezebben kezelhető adatmennyiséget. Bár a MAVIR lehetőséget nyújt az adatok sokkal finomabb felbontású letöltésére is, ez jelentősen megnöveli az adatok feldolgozási idejét, miközben az egyórás bontás már elegendő alapot szolgáltat a rendszer működésének elemzéséhez és a kutatási célokban kitűzött eredmények meghatározásához.

A MAVIR hivatalos honlapján a hazai erőművek termelési adatai csak összesített formában érhetők el, és nem található részletes lista az egyes erőművekről, a MAVIR 2022-ben átfogó jelentést adott ki a magyar villamosenergia-rendszerről.⁷ Ez a jelentés részletes információkat tartalmaz mind a nagy-, mind a kiserőművekről, beleértve azok földrajzi helyzetét, típusát és teljesítményét. A jelentésben

³ MAVIR [b].

⁴ MAVIR [c]; [f].

⁵ MAVIR [d].

⁶ MAVIR [e].

⁷ MAVIR–MEKH 2022.

szereplő adatok több esetben eltérnek a szolgáltatók által közölt információktól, azonban a MAVIR által közzétett adatokat tekintettük hivatalosnak. Az összesített eltérések mértéke nem haladja meg a 2%-ot, így az elemzés során érdemi különbséget ez nem jelent, a végső konklúzióra nincsen hatással.

A termelési kapacitások ismerete kulcsfontosságú az önellátás vizsgálata szempontjából, ezért a tanulmányban részletes erőművi információkat is felhasználtunk. Ezeket az adatokat a VER 2022 jelentés, valamint más nyilvánosan elérhető adatbázisok és szakmai jelentések alapján gyűjtöttük össze. Ezek az adatok elengedhetetlenek voltak ahhoz, hogy átfogó képet alkothassunk a magyar villamosenergia-termelési portfólióról, és pontosabban elemezhessük az egyes erőművek hozzájárulását az országos termeléshez. Így a tanulmányban nemcsak a MAVIR által biztosított összesített termelési értékek szerepelnek, hanem mélyebben is elemeztük az erőművi struktúrát és annak hatását a magyar villamosenergia-rendszer önellátási képességére.

Összességében a MAVIR által közzétett adatok megbízható és részletes forrást jelentenek a magyar villamosenergia-rendszer vizsgálatához. A MAVIR-tól és az egyéb forrásokból származó adatállományok lehetővé tették, hogy átfogó képet alkothassunk a rendszer működéséről, különösen az erőművi termelés, a felhasználás, valamint a határmetszéki áramlások vonatkozásában. Ezek az adatok alapvetően hozzájárultak a tanulmány készítéséhez, és biztosították, hogy a magyar villamosenergia-rendszer önellátási képességeiről hiteles és pontos következtetéseket vonhassunk le.

A nyers adatok feldolgozása

Az előző fejezetben említett nyers adatokat alapos feldolgozásnak kellett alávetni, hogy elemzésre alkalmasakká váljanak. Az adatok összesítése, átalakítása, szükség esetén tisztítása és szűrése elengedhetetlen volt ahhoz, hogy a rendelkezésre álló információk értelmezhetők és használhatók legyenek az elemzési folyamat során. A feldolgozás eredményeként az adatokat olyan struktúrába rendeztük, amely lehetővé tette azok részletes vizsgálatát és elemzését.

A szükséges műveleteket Python kód segítségével hajtottuk végre, a Pandas könyvtár használatával. A Pandas⁸ lehetőséget biztosított arra, hogy az adatokat

⁸ A Pandas nyílt forráskódú adatkezelő könyvtár, amelyet széles körben használnak adatfeldolgozási és elemzési feladatokhoz a Python programozási nyelvben. A Pandas lehetővé teszi a strukturált adatok egyszerű kezelését, beleértve a nagy mennyiségű adat hatékony olvasását, írását, manipulálását

könnyen kezelhető és áttekinthető Excel-fájl formájában exportáljuk, amely lehetővé tette a további elemzéseket, valamint a következtetések levonását. A feldolgozott adatok nemcsak az elemzés elvégzését könnyítették meg, hanem kiváló kiindulási alapot is jelentettek további kutatásokhoz.

Az adatok változókba szervezése nemcsak az elemzési folyamat hatékonyságát növelte, hanem lehetővé tette a dinamikus adatkezelést is, amely lényeges volt az esetleges forrásadatok változásakor. A Python és a Pandas könyvtár használatával az adatok olyan változókba kerültek, amelyek logikai szegmensekre bontották az információkat. Ez a módszer lehetővé tette, hogy az adatokat könnyen módosíthassuk vagy frissíthessük anélkül, hogy az egész elemzési folyamatot újra kellene indítani.

Amikor egy forrásadat frissült, például új adatok váltak elérhetővé vagy a meglévők módosultak, a változók segítségével ezek az új adatok gyorsan integrálhatók voltak az elemzési folyamatba. Ezáltal az újrafeldolgozás folyamata jelentősen leegyszerűsödött: elegendő volt csupán a releváns változókat frissíteni, és az automatikusan továbbgyűrűzött a teljes elemzési folyamaton. Ez a rugalmasság különösen értékesnek bizonyult az olyan helyzetekben, amikor a forrásadatok eltéréseket mutattak, vagy újabb és pontosabb információk váltak elérhetővé.

Erőművek

Az elemzés során kiemelt figyelmet fordítottunk mind a nagy-,⁹ mind a kiserőművek¹⁰ termelési kapacitására, mivel ezek együtt alkotják a magyar villamosenergia-rendszer gerincét. A különböző méretű erőművek hozzájárulása fontos szerepet játszik az ország energiaellátásában, és nagyban befolyásolja az önellátási képességet. A nagyobb erőművek, például a nukleáris és fosszilis tüzelőanyagú létesítmények általában a rendszer alapvető terhelésének biztosításában vesznek részt, míg a kiserőművek, amelyek közé tartoznak a helyi, decentralizált energiatermelők is, a hálózat rugalmasságát és az energiaellátás biztonságát segítik.

és elemzését. A könyvtár számos beépített funkcióval rendelkezik, amelyek segítségével az adatok szűrése, csoportosítása, összesítése és átalakítása gyorsan és hatékonyan végezhető el. Az adatok kezelésére szolgáló eszközei különösen hasznosak a nagy, komplex adathalmazokkal végzett munka során, mivel lehetővé teszik az adatok logikai rendezését és átláthatóvá tételét. A Pandas segítségével könnyedén alakíthatók az adatok különböző formátumokba, és az így létrehozott táblázatok könnyen integrálhatók más elemzési eszközökkel is.

⁹ 50 MW fölötti beépített teljesítőképességgel.

¹⁰ 50 MW alatti beépített teljesítőképességgel. GYÓRFI–HUGYECZ 2020.

Az önellátás szempontjából azonban nemcsak a termelési kapacitás nagysága, hanem a folyamatos rendelkezésre állás és a tervezhetőség is kulcsfontosságú tényező. Az energiarendszer stabil működése megköveteli, hogy a termelési kapacitások ne csak maximálisan kihasználhatók legyenek, hanem megbízhatóan rendelkezésre is álljanak a nap minden órájában, az év minden napján. Éppen ezért számításaink során kizárólag a tervezhető maximális kapacitásokkal dolgoztunk, nem pedig az abszolút maximummal. Ez azt jelenti, hogy a nap- és szélerőműveket, amelyek termelése időjárásfüggő és ezért kiszámíthatatlanabb, nem vettük figyelembe az önellátási számításokban. Ugyanakkor azt is meg kell jegyezni, hogy a naperőművek által megtermelt villamos energia már nem elhanyagolható, különösen mivel éves szinten folyamatosan nő a termelési kapacitás mértéke, és egyre több háztartásban is telepítenek ilyen háztartási méretű kiserőműveket (HMKE).¹¹

Az ilyen típusú, megújuló energiaforrásokra épülő erőművek kimaradása a számításokból nem jelenti azt, hogy ezek ne lennének fontosak a magyar villamosenergia-rendszer számára. Éppen ellenkezőleg, hosszú távon ezek a források jelentős szerepet játszanak a fenntartható energiatermelésben és a környezeti terhelés csökkentésében. Azonban az önellátási képesség vizsgálata során a hangsúlyt azoknak az erőműveknek a kapacitására helyeztük, amelyek a legnagyobb biztonsággal, folyamatosan képesek energiát termelni, így biztosítva a rendszer stabilitását és megbízhatóságát.

Hazánkban összesen 14 nagyerőmű található, amelyek együttes teljesítménye 5637 MW.¹² Ezek az erőművek alkotják a magyar villamosenergia-rendszer alapját, biztosítva az országos energiaellátás meghatározó részét (12.1. táblázat). Mind közül kiemelkedik a paksi atomerőmű, amely 2000 MW-os termelési kapacitásával a teljes termelés több mint 30%-át adja, ezzel a legnagyobb szereplő a hazai energiatermelésben. A többi nagyerőmű között is jelentős kapacitások találhatók, mint például a Mátrai Erőmű 920 MW-tal és a Dunamenti Erőmű 770 MW-tal, amelyek szintén meghatározóak az ország energiaellátásában.

Az erőművek által felhasznált fűtőanyagok is változatosak, és jelentős hatással vannak az energiaellátás stabilitására és fenntarthatóságára. A paksi atomerőmű nukleáris fűtőanyaggal működik, amely nagy mennyiségű folyamatos energia-termelést biztosít alacsony szén-dioxid-kibocsátással. A Mátrai Erőmű lignitet használ, amely bőségesen rendelkezésre áll, de jelentős környezeti terhelést jelent.

¹¹ Csatlakozási teljesítménye egy csatlakozási ponton nem haladja meg az 50 kVA értéket.

¹² BUKTA 2022; MVM [é. n.]; PALEJ [é. n.]; Veolia Hungary [b].

12.1. táblázat. *A hazai nagyerőművek termelési kapacitása*

Erőmű	Rendelkezésre álló teljesítőképesség (MW)
<i>MVM Paksi Atomerőmű Zrt. (paksi atomerőmű)</i>	2026,6
<i>Dunamenti Erőmű Zrt. (Dunamenti Erőmű G1)</i>	145
<i>Dunamenti Erőmű Zrt. (Dunamenti Erőmű G2)</i>	218,4
<i>Dunamenti Erőmű Zrt. (Dunamenti Erőmű G3)</i>	407,7
<i>MVM Mátra Energia Zrt. (Mátrai Erőmű) I.</i>	170
<i>MVM Mátra Energia Zrt. (Mátrai Erőmű) II.</i>	684
<i>MVM Mátra Energia Zrt. (Mátrai Erőmű) GT</i>	66
<i>Uniper Hungary Kft. (gőnyűi kombinált ciklusú erőmű)</i>	433
<i>Alpiq Csepel Kft. (csepeli erőmű)</i>	395,1
<i>Budapesti Erőmű Zrt. (Kelenföldi Erőmű)</i>	177,8
<i>Budapesti Erőmű Zrt. (Kispesti Erőmű)</i>	113,3
<i>Budapesti Erőmű Zrt. (Újpesti Erőmű)</i>	105,3
<i>PANNONGREEN Kft. (Debreceni Kombinált Ciklusú Erőmű)</i>	95
<i>MVM Balance Zrt. (Lőrinci Gázturbinás Erőmű)</i>	172,4
<i>MVM Balance Zrt. (Litéri Gázturbinás Erőmű)</i>	120
<i>MVM Balance Zrt. (Sajószögedi Gázturbinás Erőmű)</i>	120
<i>Bakonyi Erőmű Zrt. (ajkai hőerőmű)</i>	71,5
<i>MVM Balance Zrt. (Bakonyi Gázturbinás Erőmű)</i>	116
Nagyerőművek összesen	5637,1
<i>MVM</i>	145,185
<i>MVMZG szk.</i>	144,064
<i>EON szk.</i>	72,375
<i>Alpiq</i>	6,53
<i>Energiabörze</i>	216,025
<i>Greenenergy</i>	63,234

Erőmű	Rendelkezésre álló teljesítőképesség (MW)
CHP	76,872
Sinergy szk.	107,474
Tatabánya Erőmű Kft. (Tatabánya Erőmű)	35,1
Pannon Green Power Kft. (Nyíregyházi Kombinált Ciklusú Erőmű)	47,1
Pannon-Hő Kft. (Pannon-Hő Biomassza Kiserőmű)	70
Pannon Green Power Kft. (pécsi hőerőmű)	49,9
Bakonyi Bioenergia Kft. (bakonyi biomassza-kiserőmű)	30
Uniper Hungary Kft. (gönyői kombinált ciklusú erőmű)	10
Kiserőművek összesen	1073,1859
Összesen	6710,959

Forrás: MAVIR–MEKH 2022 alapján a szerzők szerkesztése

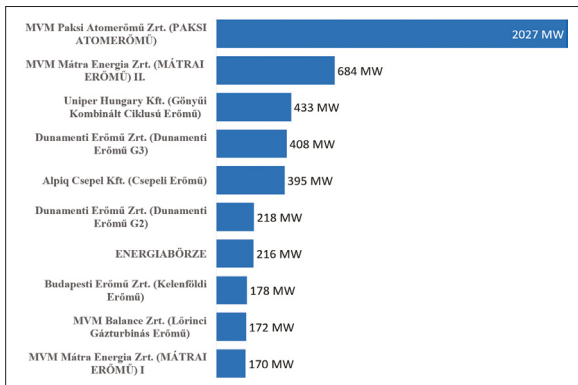
A földgázalapú erőművek, mint például a Dunamenti, a gönyői és a Csepeli Erőmű, gyorsan üzembe helyezhetők és rugalmas energiaforrást biztosítanak, de függenek az importált földgázellátástól. Ezenkívül néhány erőmű, mint például az ajkai és a pécsi erőmű, biomasszát is használ, ami hozzájárul a megújuló energiaforrások részarányának növeléséhez, bár termelésük szezonális ingadozásoknak van kitéve. Az erőművek fűtőanyag-használata így nemcsak az energiaellátás biztonságát, hanem annak fenntarthatóságát és környezeti hatásait is meghatározza.

A fenti értékeket az egymáshoz képesti arányuk jobb áttekinthetősége érdekében a 12.1. ábrán mutatjuk be.

A fentiek alapján a paksi atomerőmű bizonyul az ország legfontosabb erőművének, bár a 2000-es évek elején hangsúlyozott állítás, miszerint a hazai termelés felét ez adja, már messze nem igaz. Ugyanakkor a két legnagyobb erőmű, azaz a paksi mellett a visontai Mátrai Erőmű már valóban az ország termelésének felét adja.

Az adatokat összegezve 5637 MW adódik, azaz ennyi a magyarországi villamosenergia-nagyerőművek összteljesítménye. A fentiekhez adódik még a kiserőművek összesen 1074 MW-nyi teljesítménye. Mindent figyelembe véve így 6710 MW adódik mindösszesen a magyarországi teljes erőművi termelés maximumára.

A későbbi számítások során a határértéket azonban 6800 MW-nak fogjuk tekinteni. Ennek oka egyrészt a korábban már írt eltérések, így valamivel magasabb



12.1. ábra. A termelési kapacitások közti különbségek szemléltetése

Forrás: a szerzők szerkesztése

értéket veszünk alapul. Másrészt, hogy még 2024 második felében újraindul¹³ az oroszlanói erőmű, amelynek várható teljesítménye 100 MW körül lesz.

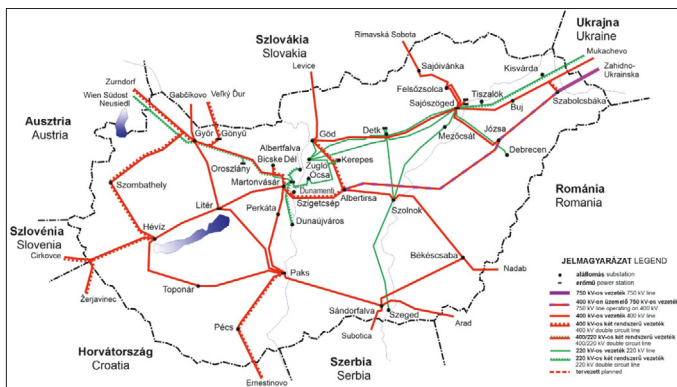
A magyar átviteli hálózat

A magyar villamosenergia-átviteli hálózat kulcsszerepet játszik az ország villamosenergia-ellátásában, biztosítva az energia hatékony és biztonságos elosztását a termelési helyektől a fogyasztói pontokig. Az átviteli hálózat a nagyfeszültségű vezetékekből és az ezekhez kapcsolódó alállomásokból áll, amelyek lehetővé teszik az energia szállítását nagy távolságokon keresztül, minimalizálva a veszteségeket. A hálózat megbízható működése elengedhetetlen az ország energiaellátásának stabilitása szempontjából, különösen a csúcsidőszakokban, amikor a terhelés maximális.

Határkeresztezők

Magyarország villamosenergia-átviteli hálózatának határkeresztezői kiemelt jelentőséggel bírnak, mivel lehetővé teszik az ország számára, hogy részt vegyen a nemzetközi villamosenergia-kereskedelemben. 2022 óta minden szomszédos

¹³ Veolia Hungary [a].



12.2. ábra. *A magvar átviteli hálózat*

Forrás: MAVIR 2024

országgal működik határkereszteszési pont.¹⁴ A határkereszteszések kulcsfontosságúak az ország energiaellátásának diverzifikálása és a rendszer rugalmasságának biztosítása szempontjából. Így egy-egy hazai erőmű kiesését a lehetőségekhez mérten relatív hamar és könnyen lehet átmenetileg helyettesíteni.

A határkeresztezési kapacitások lehetővé teszik az energia importját és exportját, ami hozzájárul az energiaellátás biztonságához, különösen akkor, ha a belföldi termelés nem elegendő a kereslet kielégítésére. 2023-ban az éves elszámolt villamosenergia-forgalom a határkeresztezéseken keresztül 28 828 GWh volt.¹⁵ Ez az energiaáramlás nemcsak Magyarország ellátásának biztosításában játszik szerepet, hanem a szomszédos országok energiahálózataival való szoros együttműködést is elősegíti, ami a régió energiabiztonságának alapját képezi. A határkeresztezési kapacitások optimalizálása és bővítése továbbra is kiemelt feladat, hogy a jövőben is biztosítani lehessen a stabil és fenntartható energiaellátást.

Csúcsterhelés

Az energiatermelés szempontjából az ideális az egyenletes fogyasztás lenne, mivel így hosszú távra tervezhető lenne a termelési igény. Azonban ez nyilvánvalóan

¹⁴ MAVIR [a].

15 MAVIR [g].

nincs így, ezért amennyiben túl sok a megtermelt villamos energia, azt exportálni kell (hiszen tárolni ekkora mennyiségben nem lehetséges, az erőművek leállítása és újraindítása pedig ilyen időskálán nem járható út). Amennyiben viszont kevés a termelés az igényekhez képest, importra szorul az ország. Hogy a felhasználók energiaigényét hazai termelésből tudjuk kielégíteni, szükséges az éves maximális fogyasztás értékének változását figyelemmel követni. Hasonlóan, hogy ismerjük, mekkora mennyiségű villamos energiát képes az ország exportálni, célszerű ismerni az éves minimumértékeket is. Ezen adatokat az elmúlt hat évre a 12.2. táblázatban foglaltuk össze.

12.2. táblázat. Rendszerterhelések abszolút maximum- és minimumértékei évenkénti bontásban

Év	Maximumfogyasztás (MW)	Minimumfogyasztás (MW)
2019	7082,375	3402,495
2020	6985,707	2864,129
2021	7278,896	3502,363
2022	7319,045	3408,468
2023	7299,325	2917,523
2024	7389,884	2855,882

Forrás: a szerzők szerkesztése

Az elmúlt évek adatai¹⁶ alapján a magyarországi villamosenergia-rendszer bruttó tényleges terhelése folyamatos növekedést mutatott, különösen a téli és nyári csúcsterhelési időszakokban, amikor a fűtési és hűtési igények a legmagasabbak. Az adatok elemzése során megfigyelhető, hogy a 2019 és 2024 közötti időszakban a rendszer csúcsterhelése évente átlagosan 70–80 MW-tal növekedett. A téli időszakban a csúcsterhelés általában a januári-februári hideg hónapokban jelentkezik, míg a nyári csúcsok főként a júliusi-augusztusi forró napokra esnek. Ez a trend azt jelzi, hogy a növekvő gazdasági aktivitás, az urbanizáció, valamint az energiaigényes technológiák terjedése egyaránt hozzájárul a terhelés emelkedéséhez. A növekedés üteme nem mutat jelentős lassulást, ami azt sugallja, hogy a következő években is szükség lesz a rendszer kapacitásainak bővítésére és a hálózati infrastruktúra fejlesztésére.

¹⁶ MAVIR [d].

A lineáris regresszióval végzett előrejelzések szerint a 2025–2027 közötti időszakban a rendszer csúcsterhelése tovább emelkedik, és 2027-re várhatóan eléri a 7622 MW-ot. Ezen előrejelzések megerősítik, hogy a villamosenergia-rendszer stabil működésének fenntartása érdekében elengedhetetlen a további kapacitásbővítés és a meglévő infrastruktúra modernizálása. A téli csúcsterhelési időszakban, amikor a fűtési rendszerek, illetve a nyári csúcsok idején, amikor a légkondicionálók használata megugrik, a rendszer különösen nagy kihívásokkal néz szembe. Az előrejelzések alapján a rendszerirányításnak fel kell készülnie a növekvő terhelések kezelésére, beleértve a megújuló energiaforrások integrálásának növelését és a rugalmas hálózati megoldások alkalmazását is. Az ilyen mértékű növekedés szükségessé teszi a hosszú távú energiapolitikai tervezést, hogy biztosítani lehessen a folyamatos és megbízható energiaellátást a következő évtizedben is.

Negatív napok

12.3. táblázat. A negatív napok száma évenként

Év	A negatív napok száma (db)
2019	10
2020	19
2021	29
2022	24
2023	19
2024	22

Forrás: a szerzők szerkesztése

Negatív napok alatt azokat a napokat értjük, amelyeken Magyarország összes fogyasztójának felhasználása túllépte azt az energiamennyiséget, amelyet az ország erőművei képesek megtermelni, azaz a villamosenergia-import elkerülhetetlen volt az igények biztosításához. Ehhez összesítettük a rendszerterhelési adatokat, és azon napok számát vizsgáltuk, amikor a fogyasztás meghaladta a 6800 MW-ot. Az évek során a negatív napok száma növekvő tendenciát mutatott. A 2021-es évben volt tapasztalható a legmagasabb érték (29 nap), amelyet 2022 és 2024 követ, míg 2019-ben volt a legkevesebb ilyen nap (12.3. táblázat). Fontos megjegyezni,

12.4. táblázat. A negatív napok száma negyedévenként

Félév	A negatív napok száma (db)
2022. 1. né.	22
2024. 1. né.	18
2021. 4. né.	17
2023. 4. né.	15
2020. 1. né.	11
2021. 1. né.	11
2020. 4. né.	8
2019. 4. né.	6
2019. 1. né.	4
2023. 1. né.	4
2024. 3. né.	3
2022. 4. né.	2
2021. 2. né.	1

Forrás: a szerzők szerkesztése

hogy 2024-ben jelenleg csak az év 8. hónapjánál járunk, és a teljes téli időszak még előttünk áll, ami további terhelési csúcsokat jelenthet, így az idei év végleges adatai meghaladhatják majd a jelenlegi számokat.

A negyedéves eloszlások az alábbiak szerint alakultak.

1. negyedév: Ez a legaktívabb időszak, különösen 2022-ben (22 nap) és 2024-ben (18 nap), ami azt mutatja, hogy az év elején, valószínűleg a hidegebb téli hónapokban jelentős a terhelés.

2. negyedév: Jelentősen kevesebb nap, csak 1 nap volt 2021-ben.

3. negyedév: Csak 2024-ben volt említésre méltó, 3 nap.

4. negyedév: Szintén jelentős terhelést mutat, különösen 2021-ben (17 nap) és 2023-ban (15 nap), ami arra utal, hogy az év végi hidegebb hónapokban ismét megnövekszik a rendszerterhelés.

Összességében a terhelési csúcsok túlnyomórészt az év első és utolsó negyed-évében koncentrálnak (lásd 12.4. táblázat), ami összhangban van a téli hónapok

magasabb energiaigényével, elsősorban a fűtési szükségletek miatt. Ez a tendencia arra utal, hogy a hálózatnak különösen fel kell készülnie a téli időszakokra, amikor a terhelés a legmagasabb.

Rendszerterhelés a maximumhoz közel

A rendszer terhelésének alakulását is megvizsgáltuk, olyan aspektusból, amikor a terhelés értéke meghaladta a 6600 MW-ot, de nem érte el a 6800 MW-ot. Ennek fontossága az ország energiatermelési rendszerének sérülékenységet hivatott vizsgálni, ugyanis bármikor előfordulhat egy erőmű kiesése a rendszerből vagy annak lassabb elindítása. A hiányzó részt 200 MW-ban határoztuk meg. Az eredmények (12.5. táblázat) alapján kiderült, hogy rendkívül szélsőségesen változik az egyes években azon napok száma, amikor a terhelés ebben a kritikus tartományban mozgott.

12.5. táblázat. A napok száma évenként, amikor a fogyasztás átlépte a 6600 MW-ot, de nem lépte túl a 6800 MW-ot

Félév	A közel negatív napok száma (db)
2019	26
2020	39
2021	62
2022	52
2023	30
2024	28

Forrás: a szerzők szerkesztése

Fenyegetettség és kitettség

Az ennyire kiszámított és feszesen tervezett termelési és fogyasztási struktúra jelentős biztonsági kockázatokat rejt magában a magyar villamosenergia-rendszer számára. Amennyiben bármelyik nagyobb erőmű kiesik a termelésből műszaki hiba, karbantartás vagy váratlan meghibásodás miatt, az azonnal jelentős terhelést

helyez a hálózat többi részére. A jelenlegi kapacitások mellett az ilyen kiesések veszélyeztetik a rendszer stabilitását, mivel a tartalékkapacitások korlátozottak, és a megújuló energiaforrások kiszámíthatatlansága miatt nem mindig áll rendelkezésre azonnali helyettesítési lehetőség. Az ilyen helyzetekben megnövekedhet az áramkimaradásoknak, a tervezett áramszüneteknek vagy akár a hálózat összeomlásának a kockázata, amely súlyos következményekkel járhat mind a gazdaság, mind a lakosság számára.

Mivel a hazai tartalékkapacitások nem elegendők minden esetben a kieső erőművek pótlására, a magyar villamosenergia-rendszer egyre inkább külföldi forrásokra van utalva ilyen kritikus helyzetekben. Ez a függőség nagy stratégiai kockázatot jelent, különösen abban az esetben, ha az importlehetőségek is szűkösek vagy bizonytalanok, például nemzetközi konfliktusok vagy regionális energiaválságok esetén. Ilyen körülmények között Magyarország kiszolgáltatottá válhat a külföldi energiapolitikai döntéseknek, ami további veszélyeket jelent az energiaellátás biztonságára nézve. A hálózat stabilitásának biztosítása érdekében elengedhetetlen, hogy a rendszer rendelkezzen elegendő hazai kapacitással, amely képes azonnal és megbízhatóan pótolni bármilyen kiesést, minimalizálva ezzel az energiaellátási zavarokat és a kapcsolódó kockázatokat.

Vizsgálataink alapján megállapítható, hogy a magyar villamosenergia-rendszer tervezhető maximális kapacitása nem elegendő a napi fogyasztási igények év közbeni folyamatos kiszolgálására. Számos olyan nap van az év során, amikor a fogyasztás megközelíti vagy akár meg is haladja a rendelkezésre álló kapacitások elméleti felső határát. Ez a helyzet különösen aggasztó lehet a csúcsidejakban, amikor emiatt a rendszer stabilitása is veszélybe kerülhet. Az ilyen körülmények között a rendszerüzemeltetők számára kihívást jelent a megbízható energiaellátás biztosítása, ami rámutat a jelenlegi kapacitások elégtelenségére.

A fogyasztási igények kapacitáson túli növekedése különösen problémás lehet abban az esetben, ha valamilyen okból megszűnik vagy jelentősen korlátozódik a villamosenergia-import lehetősége. Ilyen helyzetek előfordulhatnak például nemzetközi konfliktusok, természeti katasztrófák, technikai problémák vagy akár célzott támadások következtében is, amelyek gátolhatják az energia áramlását a határkereszteségi pontokon. Amennyiben a hazai termelés nem képes fedezni a teljes energiaigényt, az importálási lehetőségek hiánya nagy kihívások elé állíthatja az országot. Ennek következményeként a lakosság szembesülhet áramkimaradásokkal, energiakorlátozásokkal, amelyek negatív hatással lehetnek az életminőségre, a gazdaság működésére, valamint a kritikus infrastruktúrák, például a kórházak és a közszolgáltatások biztonságos üzemeltetésére.

Bár a naperóművek jelentős mértékben hozzájárulnak a rendszer teljesítményéhez, időszakosan akár 2000 MW-ot is biztosítva, és ehhez még hozzáadódik a széleróművek termelése is, ezek az energiaforrások időjárásfüggők, ezért kiszámíthatatlanok. A napelemek és a szélturbinák által termelt energia csak korlátozottan tervezhető, ami azt jelenti, hogy ezekre nem lehet kizárólagosan alapozni a villamosenergia-rendszer stabilitását és folyamatos ellátását. A megújuló energiaforrások integrációja ugyan fontos lépés a fenntarthatóság irányába, de a jelenlegi technológiai korlátok miatt nem képesek biztosítani az ellátásbiztonságot minden körülmények között.

Ebből adódóan elengedhetetlen olyan további erőművek telepítése és fejlesztése, amelyek bármikor képesek az energiatermelésre, és azt a lehető legrövidebb beüzemelési idővel tudják biztosítani. Az ilyen típusú erőművek, amelyek nem függenek az időjárási viszonyoktól, képesek garantálni az energiaellátás folyamatosságát és biztonságát még a legnagyobb terhelés idején is. Ez különösen fontos a téli időszakban, amikor a megújuló energiaforrások termelése általában alacsonyabb, de a fogyasztás jelentősen megnövekedhet.

A jövőbeni energiapolitikai és beruházási döntések során figyelembe kell venni a jelenlegi kapacitások korlátait, és prioritásként kell kezelni az új, stabilan termelő erőművek fejlesztését. Csak így biztosítható a magyar villamosenergia-rendszer hosszú távú megbízhatósága és fenntarthatósága, valamint az, hogy a rendszer képes legyen megfelelni a növekvő fogyasztói igényeknek minden körülmények között. A megfelelő erőművi kapacitások kiépítése nemcsak az ellátásbiztonságot erősíti, hanem hozzájárul a gazdaság stabilitásához és a társadalom jólétéhez is.

Összegzés

Tanulmányunkban a magyar villamosenergia-rendszer jelenlegi helyzetét, ön-ellátási képességét vizsgáltuk. Számba vettük a hazai nagy- és kiserőművek termelési kapacitását, valamint a tervezhető maximális kapacitások szerepét a villamosenergia-ellátás biztosításában. Az adatokból világosan kirajzolódik, hogy a jelenlegi kapacitások sok esetben nem elegendőek a folyamatos fogyasztási igények kielégítésére, különösen a csúcsidőszakokban. Az elemzés rávilágított arra is, hogy a megújuló energiaforrások, bár jelentős mértékben hozzájárulnak a rendszerhez, jelenleg nem biztosítanak kellő megbízhatóságot az ellátás szempontjából, ezért elengedhetetlen további, időjárásfüggetlen kapacitások kiépítése.

A jövőbeli energiaellátás biztonsága szempontjából kulcsfontosságú a meglévő kapacitások bővítése (mint például a Paks II. beruházás megvalósítása), amelyek jelentős mértékben növelhetik a rendszer tervezhető maximális kapacitását. Eredményeink alapján világossá vált, hogy az ország energiafüggőségének csökkentése és az önellátás növelése érdekében stratégiai jelentőségű beruházásokra van szükség. Emellett a rendszer stabilitása érdekében fontos az erőművi kapacitások és az energiaimport közötti egyensúly fenntartása, hogy Magyarország hosszú távon is biztosítani tudja az energiaellátást, még a legkritikusabb helyzetekben is. Az itt bemutatott adatok és következtetések alapvetően hozzájárulhatnak a jövőbeli energiapolitikai döntésekhez és a fenntartható villamosenergia-rendszer kialakításához.

Felhasznált irodalom

- BUKTA Imre et al. (2022): *A magyar villamosenergia-rendszer 2022. évi adatai*. Budapest: Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal – Mavir Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító. Online: www.mavir.hu/documents/10258/239341959/A+magyar+villamosenergia-+%C3%A9s+f%C3%B6ldg%C3%A1zrendszer+2022.+%C3%A9vi+adatait+bemutat%C3%B3+kiadv%C3%A1ny.pdf/dd5b5343-f7ab-f57f-e3ce-8ee9f25f4783?t=1697181260471
- GYÖRFI László Krisztián – HUGYECZ Attila (2020): *A hazai kísérőművi szegmens bemutatása*. Kézirat.
- MAVIR [a]: *A Szlovénia és Magyarország közötti Cirkovce – Hévíz határkeresztező távvezeték üzembe helyezése*. Online: www.mavir.hu/web/mavir/-/a-szlov%C3%A9nia-%C3%A9s-magyarorsz%C3%A1g-k%C3%B6z%C3%B6tti-cirkovce-h%C3%A9v%C3%ADz-hat%C3%A1rkeresztez%C5%91-t%C3%A1vvezet%C3%A9k-%C3%BCzembe-helyez%C3%A9se?returnPlid=237657540
- MAVIR [b]: *Adatpublikációk és kiadványok*. Online: <https://mavir.hu/web/mavir/adatpublikaciok-es-kiadvanyok>
- MAVIR [c]: *Import-export*. Online: <https://mavir.hu/web/mavir/import-export>
- MAVIR [d]: *Rendszerterhelés Terv és Tény adatok (Bruttó, Nettó)*. Online: <https://mavir.hu/web/mavir/rendszerterheles>
- MAVIR [e]: *Valós idejű aggregált termelés*. Online: <https://mavir.hu/web/mavir/valos-ideju-aggregalt-termeles>
- MAVIR [f]: *VER forgalmi adatok – aggregált adatok*. Online: <https://mavir.hu/web/mavir/ver-forgalmi-adatok-aggregalt-adatok>
- MAVIR [g]: *Határmetszéki áramlások*. Online: <https://mavir.hu/web/mavir/hatarmetszeki-aramlasok>
- MAVIR (2024): *Összefoglaló a magyar villamosenergia-rendszer előzetes adatairól 2023*. Online: https://issuu.com/mavirzrt/docs/ver_osszefoglal_2023
- MVM [é. n.]: *Termelés*. Online: <https://mvm.hu/hu-HU/Tevekenyssegunk/Termeles>
- PALEJ János [é. n.]: *A magyar közcélú átviteli villamosenergia-rendszer felépítése*. Online: https://witch.mik.pte.hu/oktatas/Tanszeki_anyagok/Villamos_Halozatok_Tanszek/Haj%F3s%20Imre/Szabadvezet%E9k_eloszt%F3h%E1l%F3zat/1%20t%20E9mak%F6r%20tov%20E1bbi%20info/VER_bemutat%E1sa2014.pdf
- Portfolio (2012): *Meglepo jövőt jósolnak: olajhatalom lesz Amerika*. *Portfolio.hu*, 2012. március 25. Online: www.portfolio.hu/vallalatok/energia/meglepo_jovot_josolnak_olajhatalom_lesz_amerika.164714.html
- Veolia Hungary [a]: *Oroszlányi erőmű*. Online: www.veolia.hu/hu/oroszlanyi-eromu
- Veolia Hungary [b]: *Erőműveink*. Online: www.veolia.hu/hu/eromuveink

A szimulációs rendszereken alapuló képzés, kiképzés lehetőségei, valamint hatékonyságának vizsgálata a Magyar Honvédség légierő haderőnem fegyvernemeinél és szakcsapatainál

Az állami és a polgári repülésben is óriási problémát jelent a folyamatos pilótahiány. Az állami szférában az új típusok beszerzése és a hajózók elöregedése miatt az elkövetkezendő években közel 200 pilótára lenne szükség, így a Magyar Honvédségben biztosnak kell lenni abban, hogy a teljes mértékben államilag finanszírozott képzési rendszerbe csakis olyan növendékeket iskoláznak be, akik minden szempontból alkalmasak és képesek a teljes, akár négy fázisból álló többéves kiképzést elvégezni. Napjainkban egyre inkább teret nyernek a különböző digitális platformok bevonásai bizonyos kompetenciák fejlesztése és fenntartása céljából. A mai rohanó világban elengedhetetlen, hogy lépést tartsunk olyan korszerű technikákkal és kiképzési formákkal, amelyek segíthetik az adott fegyvernemet, hogy modernebb, költséghatékonyabb és biztonságosabb módon támogassák a képzést.

Kulcsszavak: szimulátor; hatékonyság, Digital Combat Simulator; helikopter

EXAMINING THE POSSIBILITIES AND EFFECTIVENESS OF TRAINING BASED ON SIMULATION SYSTEMS FOR ARMS AND TROOPS OF HUNGARIAN AIR FORCE

The continuous shortage of pilots is a huge problem in state and civil aviation as well. In the public sphere, due to the procurement of new types and the aging of pilots, nearly 200 pilots would be needed in the coming years, so the Hungarian Defence Forces must be sure that only students who are suitable and capable in all respects will be enrolled in a fully state-financed training system. To complete the entire multi-year training consisting of up to four phases. Nowadays, the involvement of various digital platforms is increasingly gaining ground in order to develop and maintain certain competences. In today's fast-paced world, it is essential to keep up with modern techniques and training forms that can help the specific arms to support training in a more modern, cost-effective and safe way.

Keywords: simulator; efficiency, Digital Combat Simulator; helicopter

Bevezetés, a tudományos probléma megfogalmazása

A „repülési szegmens” olyan – szoros biztonsági hálóban működő – speciális terület, amelynek működését – úgy földön, mint levegőben – hatóságok felügyelik és irányítják. A hagyományos légi közlekedés rendszerének napjainkig ugyan voltak már bevált és jól működő szimulátoros rendszerei, de ezek gyors léptékű fejlődése, valamint e fejlődés nyomon követése újabb és újabb kihívás elé állíthatja az adott szervet.

Elmondható, hogy a polgári légi közlekedés szakszemélyzetének képzésében a szimulátorhasználat már hosszú évek óta hatóság által akkreditált feltételrendszer mellett működik. Ami a napi több millió utas biztonsága miatt elengedhetetlen. Az állami célú légi közlekedésben a szimulátorhasználat a tervezhető és garantált „teljes kiképzettségi szint” elérését teszi lehetővé gyakran kevesebb repülési idő mellett.

Számos kérdés merül fel e témakört illetően, többek között a rendszerszintű kialakítás eljárásai és a hatékonysági fok mérése. Miként lehetne az újonnan beszerzett és már rendszerben lévő szimulátorokat a Nemzeti Közszerződési Egyetemen nemrégiben újraindult állami légijármű-vezetői szakos hallgatók számára a képzésben hasznosítani? Integrálásukkal elősegíthető-e a kiválasztás optimalizálása és a repülő kiképzésben dolgozó oktatók munkaterhelésének ideális mértékre csökkentése, valamint milyen mértékben szolgálhatja a Magyar Honvédségben szolgáló légijármű-vezetők jártasságfenntartását a hajózó növendékek kiképzése mellett?

Kutatási célkitűzések

Az alábbi célokat tűztük ki:

- a kutatás első fázisában *bemutatjuk* a napjainkig használt szimulátoros képzési formákat mind civil, mind katonai vonatkozásban;
- továbbá *megvizsgáljuk* a felvetett probléma létjogosultságát, aktualitását;
- *elemezzük* az eddigi szimulátoros képzési eredményeket, azok tendenciáját;
- a kutatás második fázisában hazai és külföldi *esettanulmányokat vizsgálunk meg*, és értékeljük, hogy miként segítették a szimulátorok és más digitális platformok a pilóták kiképzését;
- repülésbiztonsági szempontból *megvizsgáljuk, és elemezzük* ezeket az esettanulmányokat, milyen következtetések vonhatók le ezen esetekből;
- a kutatás harmadik fázisában *megvizsgáljuk műszaki, költséghatékonysági, valamint időbeli szempontból* ezen képzési forma létjogosultságát;

- másrészt *kísérleti tesztek*et *hajtunk végre* annak bizonyítására, hogy az alacsony költségvetésű szimulátorokon gyakorlatot szerzett hallgatók kognitív képességei fejlődnek, és a tervezett képességépítéssel eredményesebben teljesítenek a valós repülések megkezdésekor;
- átfogó javaslatokat teszünk olyan megoldások megvalósítására, amelyek elősegítik az idő- és költséghatékonyabb képzést, valamint arra, hogy a növendékek hogyan szerezzenek magabiztosságot az éles repülések megkezdése előtt. Ezenfelül javaslat készíthető a digitális hajózáskönyv felépítésére, amely folyamatosan nyomon követi a képzés és a kiképzés előrehaladását.

Alkalmazható szimulátorok

A Katonai Műszaki Doktori Iskolában eltöltött első évben számos eredményt sikerült elérnünk. A kutatásban kiemelt szerep jut az időmenedzsmentnek, ugyanis a legtöbb kísérletet több éven át kell végezni, újabb és újabb légijármű-vezető szakos hallgatói tancsoportok bevonásával. Az elvégzendő kísérletek végcéljaikban megegyeznek, de felépítésükben és részleteikben több ponton is eltérnek. Ezen vizsgálatok célja igazolni a főhipotézist, miszerint feltételezem, hogy az otthoni felhasználású szimulátorok több téren is alkalmazhatók a légierőben. Kutatásom során a *Digital Combat Simulator*¹ és a *Microsoft Flight Simulator*² által nyújtott lehetőségeket elemzem és vetem alá különböző kísérleteknek.

Microsoft Flight Simulator (MFS)

Az MFS (13.1–3. ábra) igen népszerű repülésszimulációs játék, amely a Microsoft és az Asobo Studio közös munkájának eredménye. A játékot 2020-ban adták ki, és a repülési szimulációk terén új mércét állított a rendkívül részletes és valóságos környezet, valamint a valós idejű meteorológiai viszonyok és globális térkép-modellezés révén. Bár a szoftvert első körben élményszerzési céllal fejlesztették, számos olyan előnnyel rendelkezik, amelyet kihasználva akár kiképzési céllal is fel lehet használni. Többek között a valósághű környezet, amely rendkívül

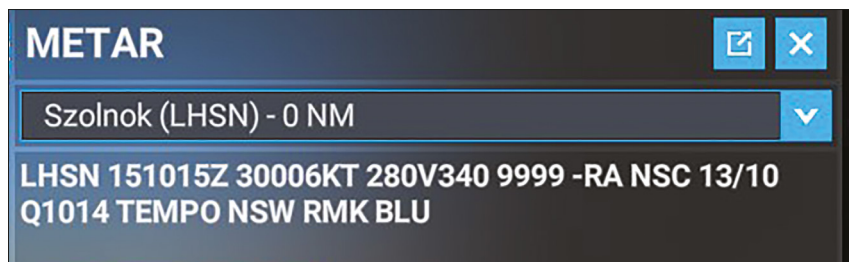
¹ *Digital Combat Simulator* [é. n.].

² *Microsoft Flight Simulator* [é. n.].

```
METAR LHSN 151015Z 30006KT
280V340 9999 -RA NSC 13/10
Q1014 TEMPO NSW RMK BLU
```

13.1. ábra. *LHSN METAR*

Forrás: a szerzők szerkesztése

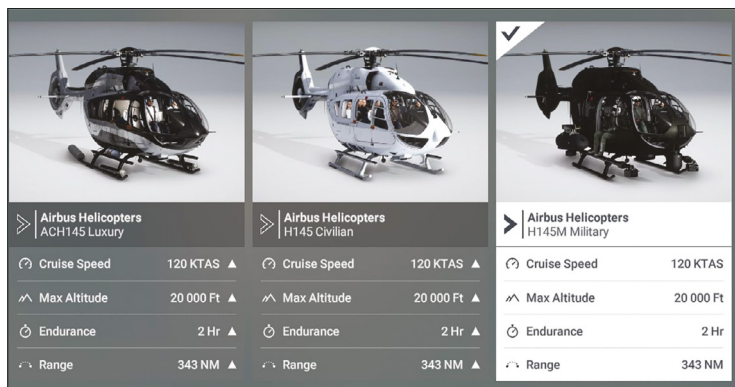
13.2. ábra. *A Microsoft Flight Simulator időjárása a kísérlet időpontjában*

Forrás: a szerzők szerkesztése

részletes világmodellezést kínál, hiszen több petabájtnyi adatot dolgoz fel a 3D modellkészletek és textúrák megjelenítéséhez. Ebből kifolyólag a játék valós idejű meteorológiai adatokat is használ, ezáltal valós idejű repülési környezetekben lehetséges a repülés az adott területen.

Jól látható, hogy a valós környezetben kiadott METAR,³ valamint a szoftver által alkalmazott és szimulált időjárás 100%-ban megegyezik, így példának okáért magyarországi viszonylatban is az adott repterek és azok teljes környezete felhasználható gyakorlási céllal, azaz a területekre jellemző szélviszonyok és meteorológiai adottságok modellezhetők, mielőtt a valós repülésre sor kerülne, így esély adódik felkészülni bizonyos szituációkra. A szoftvert rengeteg repülőgéptípussal látták el, amelyek egytől egyig valós műszerfal-kialakítással kerültek a játékba, valamint teljes részletességgel modellezték azokat. Természetesen lehetőség van

³ A METAR a rendszeres, repülésre vonatkozó aktuális időjárást megadó kód neve. A METAR táviratot félóránként vagy óránként adják ki.



13.3. ábra. Játékba importálható H145 helikoptervariánsok

Forrás: a szerzők szerkesztése

ezek az alapmodelleken kívül egyéb típusokat is a játékba importálni, mint például a Magyar Honvédségnél rendszeresített H145M helikopter.

A szoftver teljes realitással képes modellezni a típust, amelyhez megfelelően kalibrált hardverrel (például Thrustmaster T16000M) otthoni felhasználással elvégezhető olyan gyakorlatok, mint például a gépindítás vagy a kezelőfelületek átfogóbb ismerete. Természetesen a szoftver által alkalmazott gépmodellek eltérhetnek a különböző országok által alkalmazott modifikációktól, de a kiképzési célnak ezen modellek is megfelelnek.

A szoftvert leginkább navigációs és műszeres repülési eljárások begyakorlására javaslom realisztikussága és kidolgozottsága miatt, továbbá kísérleteim is ezen a vonalon folynak.

Digital Combat Simulator (DCS)

A DCS (13.4. ábra) a polgári életben is ingyenesen játszható harctéri szimulátor, amely nagy pontossággal képes modellezni adott repülőeszköz tulajdonságait. Számos típus közül van lehetőség választani, esetemben a Mi-8 MTV2 helikopter-típus volt a megfelelő választás, ez ugyanis a kiképzésben használt Mi-17 *Flight Training Device* (FTD) szinte teljesen azonos mása.

Fontos hozzátenni, hogy a megfelelő szimuláció érdekében a szoftverhez csatlakoztatni kell valamilyen kompatibilis kontrollercsomagot, mivel a megfelelő



13.4. ábra. A Digital Combat Simulator Mi-8MTV2 típusának kilátása VR módban

Forrás: a szerzők szerkesztése

szem-kéz-láb koordináció csak így érhető el. Kísérleteink során a Thrustmaster T-16000M FCS repülési csomagot használtuk, amely tartalmazta a *joysticket*, a gázkart és a pedált, továbbá kalibráltunk egy VR-szemüveget és egy *yaw motion* széket is, de a kísérletben csak a Thrustmaster-csomagot alkalmaztuk.

Van lehetőség – igaz, jelentős árnövekedéssel – a gázkart külön megvásárolható, speciális kollektív karra cserélni, amely azonban az alapvető készségek elsajátításához nem feltétlenül szükséges.

A DCS felhasználhatósága az alapvető mozgáskoordináció kialakításában és fejlesztésében játszhat fontos szerepet, főként helikopteres vonalon. A növendékek számára könnyebbséget jelenthet, ha otthoni nyugodt környezetben tudnak gyakorolni stressz és nyomás nélkül. Egyéni fejlődésüket nyomon követhetik, motivációjukat erősíthetik a kívánt cél elérésében. A szoftverhasználat célja, hogy a leendő repülőhajózók megismerkedjenek a helikopterek repülési tulajdonságaival, továbbá berögzüljenek a szükséges kormánymozdulatok és az azokhoz kapcsolódó izommemória.

Eddig elért tudományos eredmények

Digital Combat Simulator

A kísérletet egy-egy, különböző tancsoportban lévő hallgató segítségével végeztük. A tancsoportok további tagjai a vizsgálati fázis későbbi szakaszába kapcsolódtak

be az összehasonlítás miatt. A játékban először az alapvető repüléstechnikai elemeket kellett elsajátítani, majd a feladatok egyre komplexebbé váltak. A fel- és leszálláshoz, valamint a stabil függéshez megközelítőleg öt órára volt szükség. Ez alatt az idő alatt mindkét egyénnél jelentős fejlődés mutatkozott a mozgáskoordinációban. Csökkent a durva mozdulatok száma, a figyelmet már nem a pontos kormánymozdulatokra való törekvés kötötte le és megértették a helikopter repülési tulajdonságait. Mivel négy dimenzióban a három kormány szerv folyamatos összehangolt irányítására volt szükség, a hallgatónak folyamatosan dolgoznia kellett mozgáskoordinációján, hiszen a helikopterek esetében bármely kormány szerv kitérítése egy másik azonnali leereagálást követel meg. Öt repült óra után nehezítettük a leszállásokat, különböző leszállási platformok alkalmazásával (szűk helyek, álló és mozgó hadihajók vagy mozgó tankerek). Itt már szükség volt a precíz mozgáskoordináció készségszintű alkalmazására, hiszen ezen leszállóhelyek annyira nehezen megközelíthetők voltak, hogy a leszállást csak nyugodt kormány szervkezeléssel és finom mozdulatokkal lehetett kivitelezni. A feladatok során egyetlen követelmény volt támasztva a hallgatók felé, hogy videós visszajátszással igazolják a feladat sikeres végrehajtását. A mozgásban lévő tankerhajóra való leszállás (amely a legkomplexebb feladat volt) 10–12 óra szoftverhasználat után sikerült, ezután csak a feladatok hossza, valamint összetétele változott.

A következő fázisban a növendékek a dandárnál található Mi-17 FTD-ben folytatták a kísérletet. A két személy a DCS-ben megszerzett stabil mozgáskoordinációs tapasztalattal ült át a valós szimulátorba. A tancsoport többi tagja itt csatlakozott be a vizsgálatba azzal a céllal, hogy mérni lehessen a vezetéstechnikai különbségeket a készségeikben. Azon két hallgató, aki a DCS-t teljesítette, már komplex fülkeismerettel rendelkezett, ismerte a kormány szervek, a karok és a kapcsolók elhelyezkedését, összességében tehát otthonosan mozgott a fülkében. Amennyiben a feladat megkövetelte volna, képesek lettek volna a gép indítását és leállítását is végrehajtani, de ez a kísérlet szempontjából nem volt releváns. A többi növendék esetében idővesztéssel járt ugyanezen alapvető fülkeismeret kialakulása.

A szimulátorozás során jelentős eltérést mutattak mozgáskoordináció terén azon hallgatók, akik előtte megismerkedtek az alapvető eljárásokkal a DCS-ben. A vizsgálat előtti hipotézist, miszerint napjaink civil játékszoftverei alkalmasak a helikoptervezetés alapjainak elsajátítására, ez a kísérlet maximálisan igazolta. A Mi-17 FTD szimulátorban a hallgatók már valós kormányerőkkel, időjárási viszonyokkal és aerodinamikai hatásokkal találják szembe magukat, ahol a külső operátor képes változtatni ezeken. A két növendék már az első órában stabilan

tudta a helikoptert függési üzemmódban tartani, továbbá az alapvető helyváltoztatások sem okoztak nehézséget. Lényegében az első óra számukra csak az új környezettel való megismerkedést jelentette, azaz a szimulátor sajátosságainak felmérését és kalibrálását önmaguk számára. Ezután kikapcsolt robotpilótával kellett megismételniük a feladatokat. Ilyenkor megszűnik számos rásegítés, amely addig nagymértékben segítette a diákokat, így teljes mértékben magára lesz utalva. Fontos a több apró, folyamatos és összehangolt kormány szerv-kitérítés, mivel durva mozdulatok használata esetén a helikopter irányíthatatlanná válik. A kísérlet első óráját leszámítva a két növendék végig robotpilóta használata nélkül repült.

A cél annak mérése volt, hogy szimulált környezetben mennyi idő alatt lehet végrehajtani egy korlátozott méretű leszállóhelyre történő biztonságos leszállást, majd ezt megismételni további két alkalommal, kiküszöbölve a pusztá szerencse lehetőségét. Ehhez hasonlóan – a DCS-ben lévő tankerhajó esetében – már kifinomult szem-kéz-láb koordinációra volt szükség, amelyhez megközelítőleg további két óra kellett, így a maradék két órában volt lehetőség különböző légtér feladatokat, valamint iskolaköröket gyakorolni. A kísérletben öt óra időintervallumot szabtam mint időkorlát, amely alatt az elért feladatok szintjét mértem.

A csoport többi tagja esetében a kísérletre szánt öt óra időkorlát felhasználása már kevésbé nevezhető optimálisnak. A hallgatók itt találtak először a típussal, így az alapok elsajátítása is itt kezdődött el. Az öt óra alatt a robotpilótával való függés végrehajtása, valamint az alapvető helyváltoztatások kivitelezése történt. Robotpilóta nélkül kezdetben stabil maradt a gép, de rövid időn belül instabillá és kontrollálhatatlanná vált. Bár elkezdett kialakulni a szükséges izommemória, jelentősen több időt vett el a rendes szimulátorhasználatra szánt időből. Felmerülhet a kérdés, hogy ez miért lehet probléma, hiszen minden esetben a cél, hogy a növendék biztos alapokkal kezdje meg az éles típuson való repülést. A válasz a csoportok létszámában keresendő. A nagy hallgatói létszám miatt korlátozni kell a Mi-17 FTD szimulátorban tölthető időt, hogy minden hallgató használni tudja, ezért nagyon fontos, hogy milyen előélettel érkezik ezen állomáshoz a növendék.

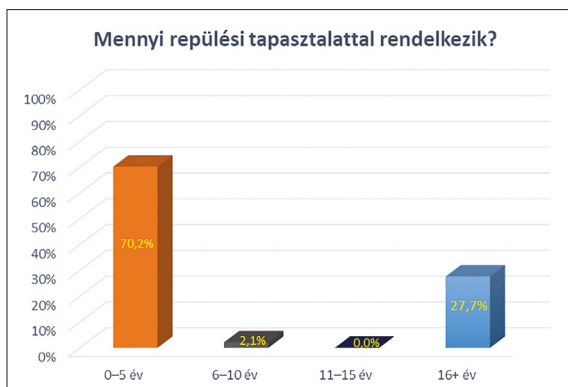
Szimulátorhasználat-hajlandósági kérdőív

A 2023/2024. tanév második félévében elkészült egy kérdőív, amely az MH Kiss József 86. Helikopter dandár repülőhajó állományának szimulátorhasználati hajlandóságát, eddigi szimulátorozási szokásait, valamint a képzés fejlesztésére irányuló gondolatait vizsgálta. A kérdőívet a cikk készítéséig 47 hajózó töltötte ki.

A vizsgálat az alábbi területekre tért ki:

- a válaszadók eloszlása kor, repült típus és repülési tapasztalat alapján;
- a szimulátorok ismerete és használati szokások:
 - szimulátorhasználati időtartam;
 - alkalmazott szimulátortípusok;
 - milyen célokra használják a kitöltők a szimulátorokat;
- a készségek fejlődése:
 - *airmanship*;
 - rádiólevezés;
 - navigáció;
 - alapvető repülési technika (mozgáskoordináció);
 - térérzékelés;
 - veszélyhelyzeti eljárások;
 - a stresszhelyzetek kezelése;
- tapasztalatok és javaslatok:
 - Milyen célokra lehetne hasznosítani a szimulátorokat?
 - Hasznos lenne-e szimulátoros kiképzési tematika kidolgozása?
 - Melyek a kiképzési tematika kidolgozásának lehetőségei?

A válaszadók eloszlásának alakulása



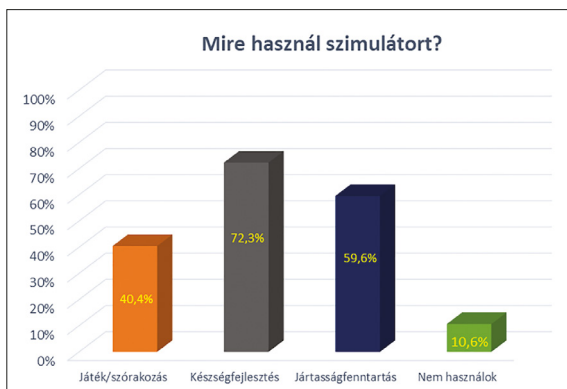
13.5. ábra. A válaszadók eloszlása repülési tapasztalat alapján

Forrás: a szerzők szerkesztése

A felmérést kitöltők kategorizálásának szempontjából a fő hipotézis az volt, hogy a kitöltők között több lesz a fiatal és tapasztalatlan hajózó (25 év vagy az alatti), mint az idősebb korosztályba tartozó tapasztalt pilóta. A hipotézis indoklásában az idősebb hajózók leterheltsége, valamint a fiatalabb korosztályhoz tartozó pozitívabb kitöltési hajlandóság játszott szerepet. Az eredmények alapján a kérdőívet kitöltők több mint 51%-a volt 25 év alatti, ami részben visszavezethető a megnövekedett hallgatói létszámra. A kitöltők között 51–49%-ban oszlott meg a merev szárnyas és forgószárnyas légi járművön szolgálatot teljesítők aránya. Végző soron a felmérés kimutatta, hogy a kitöltők 70%-a kevesebb mint öt év repülési tapasztalattal rendelkezik, így a hipotézis ezen eredmények alapján beigazolódott (13.5. ábra).

A válaszadók szimulátoros ismeretei és használati szokásai

A második hipotézis szerint a hajózók találkoztak már szimulátorral pályájuk során, de aktívan nem része a mindennapi tevékenységüknek, ellenben a rendszeresen használók főként készségeik fejlesztésére használják azt. A kérdőívből kiderült, hogy a 47 kitöltő közel 98%-a már próbált valamilyen szimulátort, de nekik csupán 27,7%-a építi be aktívan (heti több mint 1–3 óra) a mindennapjaiba. Az igénybevétel szempontjából igazolást nyert a készségfejlesztésre való törekvés (72,3%). A szimulátorhasználati szokásokat a 13.6. ábra mutatja be.



13.6. ábra. A válaszadók szimulátorhasználati szokásai

Forrás: a szerzők szerkesztése

A készségek fejlődésének eloszlása

Ezen vizsgált szempont szerint a várható eredmények tekintetében előre jelezhető volt, hogy az életkor, valamint a repülési tapasztalat függvényében más és más készségek fognak javulni. Már a kérdőív készítése során szintén várható eredmény volt, hogy az esetek döntő többségében (több mint 90%) érzékelhető lesz fejlődés bizonyos területeken. Erre a kérdésre 46 válasz érkezett, 44 fő érezte valóban úgy, hogy fejlődött készségeiben, ami 95,7%-os eredmény (13.7. ábra).

Alapvetően elmondható, hogy a kiképzési célú szimulátorok tervezésükből és ergonómiájukból fakadóan is az egyén javulását célozzák meg különböző területeken. Azonban az otthoni, csak hobbijellegű szimulátorok is képesek javulást előidézni, akár az egyén tudta nélkül is. Ezeknél a szimulátoroknál (DCS, MFS) a cél a felszabadult szórakozás, ahol az elérni kívánt fejlődés tudat alatt épül be. A kitöltők 55,8%-a közepes mértékű, míg 23,3%-a jelentős fejlődést érzett a szimulátorhasználat után. Kijelenthető, hogy már a legkisebb mértékű javulás is jelentősen hozzájárulhat bizonyos repülésbiztonsági kockázatok csökkentéséhez. A lehetséges hét szempont közül a válaszadók saját véleményük alapján a veszélyhelyzeti eljárások kezelésében léptek előre a legnagyobb mértékben. Ezt követte sorrendben az alapvető repülési készségek javulása, majd a műszeres repülési eljárásoké. Továbbá a hét szempontnál átlagosan 40%-ban jeleztek közepes mértékű



13.7. ábra. A megkérdezettek véleménye a képességjavulás tekintetében

Forrás: a szerzők szerkesztése

javulást. A legkisebb mértékű javulás a rádiólevezés terén volt megfigyelhető, ahol a kitöltők 74%-a csak kismértékű fejlődést tapasztalt. Ennek magyarázata, hogy az otthoni szimulátorok esetében nem kötelező a szaknyelv használata (sőt sok esetben még ronthatja is az élményt), a munkahelyi szimulátorok esetében pedig a jelenlegi kis óraszámú igénybevétel miatt nem tud kialakulni megfelelő javulás. Természetesen a megfelelő szintű fóniaismeret csak a valós repülések során tud kifejlődni, de a szimulátorban előzetesen alkalmazott néhány kifejezés és szituációs gyakorlat ezt jelentősen javíthatja.

Tapasztalatok és javaslatok

A kérdőív végére kerültek azok a kérdések, amelyek az egyének saját véleményére és ötleteire specializálódtak. Ezek közül nem minden kérdés volt kötelezően megválaszolando, ugyanis itt a jövőbeli tervekre, a megvalósíthatósági véleményekre és az egyén saját megítélésére kellett szöveges válaszokat adni. Abban minden válaszadó egyetértett, hogy szükséges a szimulátoros oktatási tematika kidolgozása. 56%-uk gondolta úgy, hogy optimálisan a blokkosított kiképzési módszertan lenne a megfelelő, amely tartalmaz mind otthoni, mind munkahelyi modult. Szintén a kitöltők döntő többsége érvelt amellett, hogy a szimulátorok költség- és időhatékonyan képesek szerepet vállalni a kiképzésben, azonban sokuk az eszközhiányban és a szakemberhiányban látta a leginkább felmerülhető nehézségeket. A kitöltők 74%-a vállalná, hogy akár önállóan is (önképzés keretében), oktató nélkül is élne a szimulátorozás lehetőségével, amennyiben erre alkalma adódna. Fontos megjegyezni, hogy erre vagy az otthoni modul esetében lehet koncepciót kialakítani, vagy munkahelyi környezetben olyan személy jelenlétében, aki rendelkezik az adott szimulátor kezelésének engedélyével.

Várható tudományos eredmények

Kutatásaink során számos elképzelés megvalósíthatóságának vizsgálatát végezzük el az elkövetkező szemeszterekben, amelyek a következők lesznek:

- az Insta360 kamera felvételeinek összehangolása VR-szemüveggel, ahol valós repülések feladatai tekinthetők meg, elemezhetők azzal az érzettel, mintha a hallgató ténylegesen a fülkében tartózkodna;
- digitális tananyag kidolgozása az elkészített Insta360-felvételekből;

- a Yaw Motion VR-szék összehangolása DCS-sel, amelynek célja az alapvető helikopteres mozgáskoordináció kialakítása;
- otthoni, valamint munkahelyi szimulátoros kiképzési tematika kidolgozása DCS, MFS és Mi-17 FTD alkalmazásával;
- a szimulátoros kiképzéshez kapcsolódó értékelési szempontrendszer kidolgozása.

A kutatás és a kapcsolódó vizsgálatok várható eredményeit tudományos értekezés, konferencia-előadások és tudományos-szakmai dolgozatok formájában publikáljuk magyar, illetve angol nyelven.

A kutatás eredményeinek hasznosíthatósága és összegzés

A kutatás eredményeként tett ajánlások és javaslatok eredményesen felhasználhatók lesznek a repülés világában – beleértve az állami és a polgári célú felhasználást egyaránt –, elősegítve és tovább fokozva a kiképzések hatékonyságát.

Elsődleges célunk, hogy kiemeljük és hangsúlyozzuk ezen képzési forma jelentőségét, amely kiemelt jelentőségű a jövő kiképzési módszereiben. További célunk, hogy elemezve a már rendelkezésre álló eseteket tapasztalati, illetve alkalmazói ajánlásokat tudjunk megfogalmazni, amennyiben ez szükséges az érintett területeken. Következő célunk – kísérleti tesztek keretén belül – bemutatni a felvetett és vizsgált problémát, hangsúlyozva ennek jelentőségét, továbbá megvizsgálni a jelenleg rendelkezésre álló műszaki rendszerek alkalmazhatóságának környezetét. Végezetül átfogó javaslatokat teszünk adott esetben jogszabályi, alkalmazói, illetve műszaki megoldásokra.

Felhasznált irodalom

Digital Combat Simulator [é. n.]. Online: www.digitalcombatsimulator.com/en/
Microsoft Flight Simulator [é. n.]. Online: www.flightsimulator.com

Mészáros István – Cimer Zsolt – Kátai-Urbán Lajos

A fekvőbeteg-ellátással foglalkozó egészségügyi létfontosságú rendszerelemek komplex üzemeltetői biztonságának kutatása és fejlesztése, különös tekintettel az egészségügyi válsághelyzet-tervezési feladatok ellátására

Hazánkban 2016-ban kezdődött meg az egészségügyi ágazatban, azon belül is a fekvőbeteg-ellátás alágazatban a létfontosságú rendszerelemek azonosítása és kijelölése. A tanulmányban az elmúlt nyolc év gyakorlati tapasztalatai alapján értékeli és elemezzük az alágazat kritikusinfrastruktúra-védelmi feladatait. A kritikus szervezetek rezilienciájáról szóló európai uniós szabályozás 2024-ben esedékes implementációja kapcsán – nemzetközi példákkal és az ellátásszervezés gyakorlatával összehasonlítva – vizsgáljuk a fekvőbeteg-ellátó intézmények azonosítási és kijelölési gyakorlatát, továbbá az üzletmenet-folytonossági menedzsment-rendszerek közegészségügyben történő alkalmazási lehetőségeit; mindezt a létfontosságú infrastruktúra eseményciklus-komplexitásának figyelembevételével, így az egészségügyi válsághelyzeti tervek tervrendszerbe illesztésével.

Kulcsszavak: kritikus infrastruktúra, CER-irányelv, létfontosságú rendszerek, egészségügyi válsághelyzet, üzemeltetői biztonsági tervezés

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF THE COMPLEX OPERATOR
SECURITY OF VITAL HEALTH SYSTEM ELEMENTS DEALING
WITH INPATIENT CARE, WITH PARTICULAR REGARD TO THE
PERFORMANCE OF HEALTH CRISIS SITUATION PLANNING TASKS

In 2016, the identification and designation of vital system elements in the healthcare sector, including inpatient care, began in Hungary. In the study, the critical infrastructure protection tasks of the subsector are evaluated and analysed based on the practical experience of the last eight years. In connection with the implementation of the European Union legislation on the resilience of critical entities due in 2024, the identification and designation practice of inpatient care institutions will be analysed in comparison with international examples and the practice of care organization, as well as the examination of the application possibilities of business continuity management systems in public health. All this by taking into account

the complexity of the event cycle of the critical infrastructure, thus by integrating the health crisis plans into the planning system.

Keywords: critical infrastructure, CER directive, vital systems, health crisis, operator safety planning

Bevezetés

A 2001. szeptember 11-ei terrortámadások hatására Európában kiemelkedő figyelmet kapott a kritikus¹ infrastruktúrák védelmének problémaköre. Az Európai Unió (EU) jogi szabályozási szinten az európai kritikus infrastruktúrák azonosításáról és kijelöléséről, valamint a védelmük javítása szükségességének értékeléséről szóló 2008/114/EK tanácsi irányelvében (a továbbiakban: CIP-irányelv) jelenítette meg először az európai kritikus infrastruktúrák azonosításával, kijelölésével és védelmének javításával kapcsolatos törekvéseit, amely 2008. december 8-án lépett hatályba. Az irányelv implementációja hazánkban a létfontosságú rendszerek és létesítmények azonosításáról, kijelöléséről és védelméről szóló 2012. évi CLXVI. törvény (a továbbiakban: Lrtv.) révén történt meg. A Lrtv. módosítása 2020. július 1-jén lépett hatályba. Ezenkívül 2020. július 31-től kezdődően további változások történtek a létfontosságú rendszerek és létesítmények azonosításáról, kijelöléséről és védelméről szóló 2012. évi CLXVI. törvény végrehajtásáról szóló 65/2013. (III. 8.) Korm. rendeletben (a továbbiakban: Lrtv. Vhr.), amely az Lrtv. végrehajtási rendelete.

A kutatás aktualitását a fenti szabályozás végrehajtása gyakorlati tapasztalatainak és a jogszabályi változásokból adódó felülvizsgálati tapasztalatoknak a kiértékelése adta. A koronavírus okozta világjárvány tapasztalataiból a következőket azóta több szinten is levonták és a védelmi igazgatás rendszere, valamint irányítása is átalakult. A kutatás célja annak értékelése is, hogy miként készülhetünk fel hasonló eseményekre, illetve az üzemeltetői biztonsági és egészségügyi válsághelyzeti tervezés más típusú megközelítésével segíthető-e ez a tervezési folyamat.

Az EU 2022. december 14-én hatályba léptette az Európai Parlamentnek és a Tanácsnak a kritikus szervezetek rezilienciájáról és a 2008/114/EK tanácsi irányelv hatályon kívül helyezéséről szóló 2022/2557 (2022. december 14.) (EU) irányelvét (a továbbiakban: CER-irányelv), amelynek célja az volt, hogy az EU-ban biztosítsa

¹ A későbbiekben a 2012. évi CLXVI. tv. *létfontosságúra* módosította.

ezeknek az infrastruktúráknak az ellenálló képességét az esetleges fenyegetésekkel szemben, és így biztonságosabbá tege a mindennapi életet.

Mindezekon felül a kutatás aktualitását az adja, hogy az európai uniós szabályozás legfontosabb indítékeként megjelenő globális terrorizmus továbbra is jelen van, illetve egyre több háborús konfliktus tör ki a világban, még közvetlen szomszédságunkban is, amelyek közvetlen és közvetett hatásai egyaránt fókuszba helyezik a kritikus infrastruktúrák és azon belül is kifejezetten az egészségügyi ellátórendszer védelmét.

A koronavírus-járvány kezelésének tapasztalatai rávilágítottak a biztonsági és védelmi igazgatási rendszer harmonikus együttműködésének fontosságára. A rendőrség, a katasztrófavédelem és a Magyar Honvédség (a továbbiakban: MH) tiszti állományából kórházparancsnokokat, illetve logisztikus szakembereket vezényeltek ki minden fekvőbeteg-ellátó intézménybe.² Az MH vegyi és műszaki képességeinek felhasználását indokolja az, hogy a kritikus infrastruktúrát üzemeltető gazdálkodó szervezetek – csakúgy, mint a hon- és rendvédelmi szervezetek – rendszeresen alkalmaznak műszaki kárelhárítási eszközöket, beavatkozási és bevetésirányítási eszközöket.³

A katasztrófavédelmi igazgatás szerves részét képező iparbiztonsági jog-, intézmény- és feladatrendszer a második katasztrófavédelmi törvény 2012. január 1-jei hatálybalépését követően jött létre. A kritikusinfrastruktúra-elemek védelme a katasztrófavédelem megújult, komplex rendszerében az iparbiztonsági szakterület irányítása alatt jelenik meg.

A katasztrófavédelem feladata a kritikus infrastruktúrák, azaz a létfontosságú rendszerelemek esetében a kijelölés során a horizontális kritériumok vizsgálata, a szakhatósági állásfoglalás és javaslattétel, majd a kijelölés után a nyilvántartási, hatósági ellenőrzési feladatok, a biztonsági összekötők továbbképzése, az ágazati és a nemzetközi kapcsolattartás. Továbbá a BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság (a továbbiakban: BM OKF) bocsát ki segédleteket, formanyomtatványokat az üzemeltetők részére azonosításhoz, illetve kockázatelemzéshez és az üzemeltetői biztonsági terv (a továbbiakban: ÜBT) készítéséhez is.

A létfontosságú rendszerelem mint fogalom azt jelenti, hogy a rendszer – jelen esetben az egészségügyi ellátórendszer – ezen elemének minden körülmények között működnie kell, hiszen nélküle a rendszer súlyosan károsodik. Ez a kitétel természetesen hatással van a válsághelyzeti tervezésre, sőt a rendszer más,

² AMBRUSZ–VASS 2020.

³ BEREK–FÖLDI–PADÁNYI 2020.

nem létfontosságú elemeinek tervezésére is. Mindenekelőtt azonban biztosítani kell a rendszerelem üzemszerű működésének biztonságát, a rendkívüli esemény bekövetkezésének minimalizálását, illetve az esetleges rendkívüli esemény befolysától mentes működtetést.

A szerzők álláspontja szerint a létfontosságú rendszerelemek egészségügyi válsághelyzeti tervezési és a veszélyes üzemek védelmi tervezési gyakorlatában számos azonosságot találhatunk.⁴ Az intézkedések speciális ipari kárelhárítási eszközöket igényelnek, amelyek hasonlóak a súlyos ipari balesetek elleni szabályozásban már ismert eljárásokhoz és módszerekhez.⁵ A téma a kockázatsökkentés és a klímaváltozáshoz való alkalmazkodás szakmai kérdéseinek értékeléséhez is kapcsolódik, amelyeket korunk globális problémái⁶ tüztek napirendre. Végül az üzemeltetői biztonsági tervezés területén a hatósági tevékenység fejlesztéséhez fontos gyakorlati tanulságokat sajátíthatunk el a rendezvénybiztosítás rendészeti és biztonságtechnikai kérdéseinek kezelése esetén is.⁷

Az ÜBT készítése során fel kell mérni a normál, üzemszerű működtetés alapfeladatait, alapfolyamatait, és fel kell tártani az ezekben rejlő működési kockázatokat, illetve külső veszélyeztető tényezőket. A létfontosságú rendszerelem alaptevékenységének biztonságát alapvetően műszaki, biztonsági (vagyon-, tűz-, munkavédelmi), szolgáltatási, humánerőforrás-biztosítási folyamatok határozzák meg.

Az ÜBT-k készítése a versenyszférában a nemzetközi szakmai terminológia alapján a BCP/DRP (*Business Continuity Planning/Disaster Recovery Planning*, üzletmenet-folytonossági tervezés/katasztrófa-helyreállítási tervezés) tervezési gyakorlatra, azaz az üzletmenet-folytonossági szemléletre épül. Ennek során minden műszaki, biztonságtechnikai és biztonságsszervezési, továbbá gazdasági és humánerőforrás-biztosítási körülményt figyelembe vesznek, azok kiesésének minimalizálása, helyettesítésük, helyreállításuk operativitása, összességben a termelés fenntartása, a haszon maximalizálása érdekében.

A szerzők véleménye szerint ez a szemlélet a közszférában, az egészségügyi ellátásban is alkalmazható, amennyiben a „termelést” az egészségügyi ellátással mint alaptevékenységgel, a hasznot ennek eredményeivel (betegellátás, kutatás, oktatás) azonosítjuk. Elsődleges célunk, hogy jelen tanulmánnyal a magyarországi egészségügyi igazgatásban is jól alkalmazható, a kapcsolódó tervrendszereket használó módon segítük elő ezen szemlélet meghonosítását.

⁴ ÉRCES et al. 2023.

⁵ KÁTAI-URBÁN-CIMER-LUBLÓY 2023.

⁶ BIRINYI et al. 2023; LÓDERER-RÁCZ 2011.

⁷ TÓTH 2024; TÓTH 2017.

Az egészségügyi létfontosságú rendszerek és létesítmények normatív szabályozásának elemzése és értékelése

Egyre gyakrabban fordul elő, hogy a nemzeti jog alapján eltérő követelmények vonatkoznak az alapvető szolgáltatások nyújtásában részt vevő szervezetekre. Az a tény, hogy egyes tagállamokban kevésbé szigorú biztonsági követelmények vonatkoznak az említett szervezetekre, nemcsak a reziliencia eltérő szintjeihez vezet, hanem uniószerre negatívan hathat az alapvetően fontos társadalmi funkciók vagy gazdasági tevékenységek fenntartására is, és a belső piac megfelelő működésével szembeni akadályokhoz vezet. A befektetők és a vállalkozások az olyan kritikus szervezetekre tudnak támaszkodni és azokban tudnak megbízni, amelyek reziliensek, továbbá a megbízhatóság és a bizalom a jól működő belső piac sarokköve. Hasonló típusú szervezetek egyes tagállamokban kritikusnak minősülnek, másokban viszont nem, és különböző tagállamokban eltérő követelmények vonatkoznak a kritikusnak minősített szervezetekre. Az uniós keretnek ezért olyan hatása is volna, hogy uniószerre egyenlő versenyfeltételeket teremtsen a kritikus szervezetek számára. Többek között ezt is felismerve a jogalkotó 2022. december 14-én hatályba léptette CER-irányelvét. Az irányelv alapján az alábbi egymásra épülés jelenik meg:

- kritikus szervezet – az irányelv táblázatában szereplő ágazatban/alágazatban alapvető szolgáltatást nyújt;
- kritikus infrastruktúra – amely a kritikus szervezet számára alapvető szolgáltatása nyújtásához elengedhetetlen.

A *CER-irányelv* alapvető célja csökkenteni a sebezhetőségeket és megerősíteni az EU kritikus szervezeteinek fizikai ellenálló képességét annak érdekében, hogy biztosítva legyen a gazdaság és a társadalom számára létfontosságú szolgáltatások folyamatossága, illetve növelni a szolgáltatásokat nyújtó kritikus szervezetek ellenálló képességét.

Hazánkban az első kritikus infrastruktúráról szóló jogszabály 2012-ben lépett hatályba, ez az Lrtv. A törvény definiálja a létfontosságú rendszerelem fogalmát, az ezekkel kapcsolatos általános feladatokat, illetve meghatározza a kritikusinfrastruktúra-védelem szempontjából kijelölt ágazatokat és felhatalmazza a kormányt, hogy további rendeletekben jelölje ki az ágazati kijelölő hatóságot, a javaslattevő hatóságot, állapítsa meg az azonosítás és a kijelölés általános és ágazati szabályait, valamint az ágazati és a horizontális kritériumokat.⁸

⁸ Mészáros 2023a.

Az Lrtv. Vhr. határozza meg a kijelölés és a visszavonás szabályait, a biztonsági összekötő feladatait és az általános elvárásokat az alkalmazásához, illetve az ÜBT-készítési kötelezettséget. Az ágazati kritériumokat ágazatonként külön kormányrendelet határozza meg.

Magyarországon az egészségügyi létfontosságú rendszerek és létesítmények azonosításáról, kijelöléséről és védelméről szóló 246/2015. (IX. 8.) Korm. rendelet (a továbbiakban: Lrtv. Eü. Vhr.) az alábbi küszöbértékeket határozza meg:

- legalább 400 aktív ágygal rendelkezik, vagy a területi ellátási kötelezettségébe tartozók létszáma eléri vagy meghaladja az 1,5 millió főt;
- kiesése esetén a legközelebbi kórház közúton 45 percen belül nem közelelithető meg az ellátottak által, vagy a kórház működésének folyamatos fenntartásához egészségpolitikai érdek fűződik.

A tapasztalatok szerint jelenleg Magyarországon az egészségügyi szakellátást nehezen átlátható viszonyok jellemzik. Az egészségügyi szakellátó intézmények területi ellátási kötelezettségei a progresszivitási szintektől, a kapacitásoktól teljes mértékben elválnak. Ennek megfelelően jellemző, hogy egy állampolgár, betegségétől függően, lakóhelye szerint összesen több különböző intézményhez is tartozik. A példa kedvéért egy érdi állampolgár és a Semmelweis Egyetem területi ellátási kötelezettségeit vizsgálva megállapítható, hogy az érdi állampolgár, attól függően, hogy mi baja van, 18 db fekvőbeteg-ellátó intézmény ellátási körzetébe tartozik (ha kardiológia, akkor Semmelweis Egyetem, ha érsebészet, akkor Szent Imre Kórház, ha ortopédia, akkor Szent János Kórház stb.). Mindeközben a Semmelweis Egyetemnek, amelynek klinikái jelentős része a VIII. kerületben található, alig van VIII. kerületi területi ellátási kötelezettsége.⁹

Ezek alapján megállapítható, hogy a legközelebbi kórház 45 percen belül történő elérhetősége – mint ágazati kritérium – a területi ellátási kötelezettségek figyelembevételével nem értelmezhető. A gyakorlatban ezenkívül jellemző, hogy egyes kórházakban különböző szakmák különböző progresszivitási szinteken látnak el betegeket, aminek következtében egyes szakmacsoportokon belül is különböző méretű területi ellátási kötelezettséggel rendelkeznek, amelyet az azonosítás és a kijelölés jelenlegi rendszere nem vesz figyelembe, az a kórházat mint egységes létesítményt értékeli.

A müncheni Ludwig-Maximilians-Universität (Ludwig-Maximilians Egyetem, rövidítve: LMU) Klinikai Központja gyakorlati tapasztalatainak vizsgálata

⁹ *X TEK Területi Ellátási Kötelezettség Nyilvántartás* [é. n.].

alapján elmondható, hogy Németországban a Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) törvény¹⁰ szerinti kritikus infrastruktúrák meghatározásáról szóló rendelet alapján az a fekvőbeteg-ellátó intézmény jelölhető ki kritikus infrastruktúrának, ahol a fekvőbeteg-ellátási esetszám eléri vagy meghaladja évente a 30 000-es esetszámot. A kórházaknak minden év március 31-éig kell ellenőrizniük, hogy elérik-e vagy túllépik-e ezt a küszöböt. Teljesülés esetén az üzemeltető elküldi a megfelelő jelentést a Szövetségi Információbiztonsági Hivatalnak, és a kórház a következő naptól (április 1-jétől) kritikus infrastruktúrának minősül.

Magyarországon nemzeti létfontosságú rendszerelemként akkor jelölnek ki egy fekvőbeteg-ellátó létesítményt, amennyiben az ágazati kritériumok közül és a szakhatóság állásfoglalása alapján a horizontális kritériumok közül legalább egy-egy bekövetkezésének lehetősége fennáll. Az aktív fekvőbeteg-ellátásra vonatkozó azonosítási vizsgálat részletes elemzése alapján megállapítható, hogy az alágazat vonatkozásában sem az egyes horizontális kritériumok, sem az ágazati kritérium egyes elemei nem értelmezhetők. Megállapítható továbbá, hogy a jelenlegi módszertan nem veszi figyelembe a progresszivitási szinteket.

Az alágazat vonatkozásában új módszertan bevezetésére teszünk javaslatot, az alábbi elvek figyelembevételével.

A kórházbiztonsági szakmai területek elemzése alapján megállapítható, hogy a kórházbiztonsági szakterületek jól szabályozottak, ahol a vagyonvédelem területe igényel továbbfejlesztést.¹¹

Tekintettel arra, hogy a horizontális kritériumok az alágazatra nem értelmezhetők, illetve a megfelelőség létesítménytől függetlenül – például a veszteség kritériuma vonatkozásában – folyamatosan fennállhat, szükségtelennek minősül a horizontális kritériumok szerint történő értékelés. Az azonosítási vizsgálat folyamata ezzel egyszerűsödik, a kétutas eljárás helyett az egyutas eljárás alkalmazása indokolt.

Az Lrtv. Eü. Vhr. szerint deklarált működési eljárás fenntartását a jövőben is szükségserűnek látjuk. A döntés-előkészítő bizottság szerepe már csak a társadalmi érzékenység miatt is megkerülhetetlen. Az Lrtv. Eü. Vhr. rögzíti a fekvőbeteg-ellátásra vonatkozó ágazati kritériumokat. A kiesésre vonatkozó – a legközelebbi kórház közúton 45 percen belül nem közelíthető meg az ellátottak által – kritérium a bemutatott okok miatt nem értelmezhető, ezért megszüntetése szükséges. Ugyanakkor a hazai fekvőbeteg-ellátó rendszer sajátosságával, az úgynevezett

¹⁰ Beszállító-semleges IT-biztonsági törvény.

¹¹ MÉSZÁROS 2023b.

progresszivitási szintekkel való összefüggés vizsgálata nem jelenik meg a követelmények között.

A kritikus infrastruktúraként történő üzemelés az általános kórházbiztonsági szakmai szint feletti üzemmenet-folytonossági biztonság, ezért annak kialakítása és fenntartása is jelentős költséget jelent. Ezért optimalizálni kell az alágazatban kijelölt kritikusinfrastruktúra-létesítmények mennyiségét. A vizsgálati eljárás során a fekvőbeteg-ellátás vonatkozásában egy kritériumnak való megfelelés lehet indokolt, mivel a kórház működésének folyamatos fenntartásához egészségpolitikai érdek fűződik. A vizsgálatot térségi szinten kell lefolytatni.

Az üzemeltetői biztonsági tervezés jelenlegi és javasolt gyakorlata

Az üzemeltetői biztonsági tervezés az Lrtv.-ben meghatározott tervezési feladat a kritikusinfrastruktúra-elemként kijelölt szervezetek részére, így a fekvőbeteg-ellátó intézmények részére is, amelyben az infrastruktúra, a szervezet felépítése és függőségei bemutatása mellett szükséges értékelni az infrastruktúra működését veszélyeztető kockázatokat, illetve kockázatsökkentő intézkedéseket kell hozni.

Az ÜBT tartalmi követelményeit részletesen rögzíti az Lrtv. Vhr. második melléklete. Ezen követelményeknek való megfelelés érdekében a BM OKF honlapján elérhető az *ÜBT segédlet* című dokumentum,¹² amely nemcsak a jogszabályi előírásoknak felel meg, hanem egységes szerkezetben tartalmazza azokat a tartalmi és formai követelményeket, amelyek a magas szintű védelem garantálásához szükségesek.

Hazánkban tehát a jogszabály taxatív meghatározza az ÜBT kötelező tartalmi elemeit, mintegy tartalomjegyzékként, és nevesíti a kötelezően értékelendő kockázatokat. Mindezekon túl az Lrtv. Eü. Vhr. 14.§ (2) pontja előírja, hogy az ÜBT része az *egészségügyi válsághelyzeti terv*, amely tartalmazza a közművek kiváltására, alternatív működtetésére vonatkozó tervet, a szükséges, elengedhetetlen szolgáltatások biztosítására vonatkozó résztervet, az élelmezési résztervet, a gyógyszerek, az egészségügyi fogyóeszközök, a vér- és vérkészítmények pótlási tervét, valamint a kommunikációs résztervet.

Bár a jogszabály használja az üzemfolytonos működés szót, annak minimális és optimális szintjét, azonban a lokális, az adott infrastruktúra egészére lefolytatott kockázateértékelés elkészítését körvonalazza. Megállapítható tehát, hogy az ÜBT

¹² BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság [é. n.].

ennél fogva lokális kockázatokat számba vevő módon, az intézkedési tervben statikusan a létesítményre, és nem a benne zajló folyamatokra szabottan készül.

Az ÜBT-k készítése a versenyszférában a nemzetközi szakmai terminológia alapján a *Business Continuity Planning* (BCP) tervezési gyakorlatra, azaz az üzletmenet-folytonossági szemléletre épül, amely alapvetően folyamat alapú megközelítés, dinamizmust ad a tervnek és a terv „karbantartásának”. Ezt a dinamizmust az alapfolyamatok azonosítása és azok ciklikus igazgatása, azon belül is ciklikus tervezése adja. Az ilyen típusú tervezési és irányítási feladatokra leginkább a szabványosított minőségirányítási rendszerek alkalmasak. Az üzletmenet-folytonossági tervezés és irányítási rendszer alapjait a szakirodalmi értékelésben már bemutatott MSZ EN ISO 22301:2019 Társadalmi biztonság, Üzletmenet-folytonossági irányítási rendszerek című szabvány írja le.¹³

Az üzletmenet-folytonossági tervezés lépései:

- Célkitűzés:
 - a kritikusinfrastruktúra-eseményciklus alapján a rendkívüli eseményt megelőző és az azt követő időszakra is tervezek, tehát a tervezés célja a rendkívüli események megelőzése, jelzése, észlelése, a reagálás a rendkívüli eseményekre, azaz a válságkegészségügyi tevékenység;
 - a betegellátás, mint a védendő alapfolyamat meghatározása;
 - a tervezésbe bevonandó szereplők meghatározása *stakeholderelemzés* alapján.
- Információszerzés:
 - üzleti hatáselemzés, amely során értékeljük a fő- és mellékfolyamatokat, azok egymásra hatásait, illetve a tolerálható leállás és a visszaállításhoz szükséges idő értékeit megállapítjuk;
 - kockázatértékelés (a leállási és visszaállítási értékekhez);
 - a folyamatok egymásra hatásai alapján értékeljük a kockázatokat.
- Tervezés:
 - a kockázatértékelés intézkedési terve, amely a kockázatok csökkentését hivatott szolgálni;
 - a rendkívüli események kezelésének terve;
 - a katasztrófakörülmények közötti működés terve – azaz az egészségügyi válsághelyzeti terv;
 - a deeszkalációs tervezés, amely során a rendszerelem visszaáll a „béke-időszaki” működésre.

¹³ MÉSZÁROS–BOGNÁR 2021.

- A tervek kiadmányozása.
- A tervek végrehajtása: a végrehajtás ellenőrzése a kockázatok folyamatos újraértékelésével, gyakorlatoztatással.
- A tervek szükséges módosítása és karbantartása.

A *CER-irányelv* (34) pontja alapján: „A szabványosításnak elsősorban piacvezérelt folyamatnak kell maradnia. Előfordulhatnak azonban még olyan helyzetek, amelyekben helyénvaló előírni a meghatározott szabványoknak való megfelelést. A tagállamoknak – amikor az hasznosnak bizonyul – ösztönözniük kell a kritikus szervezetekre alkalmazandó biztonsági és reziliencia-intézkedések szempontjából releváns, európai és nemzetközi szabványok és technikai előírások alkalmazását.”

Mindezek alapján javasolt az ISO 22301:2019 Társadalmi biztonság. Üzletmenet-folytonossági irányítási rendszerek megnevezésű szabványnak a hazai fekvőbeteg-ellátó alágazatban történő alkalmazása. A szabványos módszertan a fekvőbeteg-ellátó intézmények folyamataira alkalmazható, amennyiben az alapfolyamatot a betegellátással, a profitot pedig a betegellátás sikerességével azonosítjuk. Megállapítható tehát, hogy a BM OKF tervezési segédlete szerint, annak szabvány szerinti logikai sorrendbe rendezésével, kiegészítésével, konkrét alágazati számítási példákkal történő ellátásával az üzemeltetői biztonsági tervezés a fekvőbeteg-ellátó alágazatban szabványossá és folyamatalapúvá tehető.

Az egészségügyi válsághelyzeti tervezés jelenlegi és javasolt gyakorlata

Az *egészségügyi válsághelyzeti terv* (EVT) készítésének részletes szabályait az egészségügyi intézmények egészségügyi válsághelyzeti terveinek tartalmi követelményeiről, valamint egyes egészségügyi tárgyú miniszteri rendeletek módosításáról szóló 43/2014. (VIII. 19.) EMMI rendelet (a továbbiakban: EMMI rendelet) határozza meg. A rendelet értelmében az egészségügyi szolgáltatónak a terveket minden évben felül kell vizsgálnia, és fel kell terjesztenie a vármegyei kormányhivatalnak jóváhagyás céljából. A rendelet meghatározza továbbá az EVT és részterveinek pontos tartalmi és formai követelményeit is.

Az EVT tulajdonképpen tervrendszer, amely alaptervből és tizennégy résztervből áll. A felépítést, a megértést és nyilvánvalóan az alkalmazást megkönnyítendő a tervek négy kategóriába csoportosíthatók. Ezek a kategóriák a következők:

- alapinformációk és a készenlét elérése;
- reagálás az adott szervezetet ért rendkívüli eseményre;
- reagálás máshol lezajlott rendkívüli eseményre és a szolgáltatás ki-terjesztése;
- a kiszolgáló folyamatok működtetése.

A tervek életbe léptetése, alkalmazása külön-külön, illetve a lezajló esemény természetétől függően különböző permutációkban egyszerre is történhet.

A Semmelweis Egyetemen lefolytatott komplex egészségügyi válsághelyzeti gyakorlatok alapján kijelenthető, hogy a jelenlegi EVT-tervezési gyakorlat alapján készült tervek gyakorlati felhasználása erősen korlátozott. Ennek okai, hogy alapvetően nem az ellátási folyamatokra fókuszáltan készülnek, a kockázatértékelés nem teljes körű, illetve az előzőkből, továbbá felépítésükből és méretükből adódóan nehezen visszaoktathatók.

Az alábbiakban bemutatjuk, hogyan alkalmazható a folyamatalapú megközelítés és a HMIMMS-módszertan (*Hospital Major Incident Medical Management and Support*, jelentős események egészségügyi szervezése és támogatása kórházakban) az EVT-k készítése során, illetve mindezek hogyan segítik elő a betegellátási folyamatok biztosítását egészségügyi válsághelyzetben a terv felépítésétől a visszaoktatásig.

A jogszabály részletesen meghatározza, hogy mely eseménysorokra, és mely szolgáltatások (részfolyamatok) fenntartására vonatkozóan szükséges EVT-t készíteni, illetve az egészségügyi válsághelyzet törvényi definíciója alapján kijelenthető, hogy a válságegészségügyi tevékenység célja a betegellátási folyamatok fenntartása rendkívüli események között. Egy folyamat fenntartására a folyamat megismerésén keresztül lehet tervezni. Mindezek alapján tehát elengedhetetlen az a folyamatalapú megközelítés, amelyet az ÜBT-tervezés során a korábbiakban már ismertettünk.

Kritikus infrastruktúraként kijelölt fekvőbeteg-ellátó intézmények esetében ezek alapján ismert: a tervezés célrendszere, *stakeholder*-analízisen keresztül a tervezésbe, a visszaoktatásba, az utasításadásba bevonandó értékgazdák köre, az intézmény fő- és részfolyamatai. Az üzleti hatáselemzés során feltártuk ezek egymásra gyakorolt hatásait, a maximálisan tolerálható leállási és visszaállítási értékeket és a kockázatokat. A válságegészségügyi tevékenység tehát az intézmény alaptevékenységének fenntartása – a kritikusinfrastruktúra-eseményciklusban is látható módon – rendkívüli esemény során.

A HMIMMS-módszertant elsősorban angolszász országokban alkalmazzák, ahol a fekvőbeteg-ellátó intézmények „békeidőszaki” szervezeti felépítése is eltér a hazánkban szokásostól, azonban a módszertan több eleme is alkalmazható a hazai

– részletes jogszabályi alapokon nyugvó – tervezési gyakorlatban. A módszertan meghatározza a jelentős esemény fogalmát. Ezek tehát azok az események, amelyek az ellátandók száma, súlyossága, típusa vagy helye miatt különleges intézkedéseket igényelnek az egészségügyi szolgáltató részéről. A meghatározás lényege, hogy a jelentősebb incidensek akkor következnek be, amikor a rendelkezésre álló erőforrások nem képesek megbirkózni az incidensből származó munkaterheléssel.¹⁴

Az egészségügyről szóló 1997. évi CLIV. törvény szintén meghatározza az egészségügyi válsághelyzet fogalmát, amelynek legmeghatározóbb eleme, hogy a helyben rendelkezésre álló egészségügyi ellátó kapacitások és az ellátási igények között aránytalanság áll be egy váratlanul bekövetkező esemény hatására.

A HMIMMS-módszertan alapja a CSCATT-protokoll (*Command, Safety, Communication, Assessment, Triage, Treatment*; irányítás, biztonság, kommunikáció, elemzés, triázs, kezelés) szerint történő megközelítés alkalmazása,¹⁵ amelynek eljárási lépései Mackway-Jones–Carley munkájára építve az alábbiak szerint feleltethetők meg az egyes részterveknek:

1. *Command* (vezetés): alapterv, riasztási és berendelési terv. Az egyik fő különbség a „békeidőszaki” kórházi műveletek és a kórházi súlyos eseményekre adott válaszok között az, hogy világos parancsnoki szervezetre van szükség. Ez nemcsak a kórházi intézkedések hatékony megvalósítását segíti elő, hanem egyértelmű kapcsolati pontot is biztosít a külső együttműködők és a hatóságok számára.
2. *Safety* (biztonság): az összes résztervben megjelenő fogalom. A válsághelyzeti ellátásban részt vevő személyzetnek mindig szem előtt kell tartania a személyzet, a helyzet és a sérültek biztonságának kritériumát. Bár a kórházi személyzet azt feltételezheti, hogy biztonságos környezetben dolgozik, a veszélyek előfordulási valószínűsége jelentős, ami az ellátásra érkezők nagy számából, a berendelt személyzet érkezéséből és magából a szituációból is adódhat, akár észrevétlenül is.
3. *Communication* (kommunikáció): kommunikációs terv. Gyakran előfordulnak kommunikációs hibák a helyszín és a kórház között, valamint magán a kórházon belül. Ezek a hibák minden szinten előfordulnak, a szolgáltatások között és azokon belül egyaránt. Ezért elengedhetetlen, hogy a kommunikációs eljárásokat (például a behívást, az incidens kezelését és a szolgálatok közötti kapcsolattartást) megtervezzék, és teszteljék.

¹⁴ MACKWAY-JONES–CARLEY 2019.

¹⁵ MACKWAY-JONES–CARLEY 2019.

4. *Assessment* (értékelés): az összes résztervben megjelenő fogalom. Elengedhetetlen a helyzet gyors felmérése, hogy megbecsülhessük az ellátandó tömeg méretét és súlyosságát. Az összegyűjtött információkat a kezdeti orvosi válasz meghatározására használják. Nem kell teljesen pontosnak lennie, és az incidens előrehaladtával finomodik. A folyamatos értékelés a felmerülő veszélyekre és az egészségügyi erőforrások megfelelőségére vonatkozik. A cél, hogy a megfelelő emberek a megfelelő készségekkel és felszereléssel a sérültek kezelésére összpontosítsanak.
5. *Triage* (triázs): valamennyi betegellátási folyamat fenntartására vonatkozó tervben megjelenő fogalom. Ez a sérültek és a kimenekítendő betegek kezelési prioritások szerinti rendezése. A folyamat dinamikus, ahol a prioritások a kezelés után vagy a kezelésre várva változhatnak, és minden szakaszban meg kell ismételni a változás észleléséhez.
6. *Treatment* (kezelés): valamennyi betegellátási folyamat fenntartására vonatkozó tervben megjelenő fogalom. A jelentős incidensek kezelésének célja a „legtöbbet megtenni a legtöbbért”, vagyis a menthetők azonosítása és kezelése. A tényleges kezelés tükrözi a szolgáltatók képességeit, a sérülések súlyosságát, valamint a rendelkezésre álló időt és erőforrásokat. A sérültek száma, valamint a készségek és a felszerelések rendelkezésre állása korlátozhatja a szolgáltató azon képességét, hogy a legjobb kórházi gyakorlat szabványainak megfelelően teljesítsen.
7. *Transport* (szállítás): az összes résztervben és kifejezetten a szállítási tervben megjelenő fogalom. Bár a súlyosan sérült betegek többsége sürgősségi betegszállítóval érkezik a kórházba, a sürgősségi orvosnak fel kell készülnie a saját gépkocsival vagy nem hagyományos közlekedési eszközzel (például busszal) érkező betegek kezelésére.

Ezenkívül fel kell készülni a betegek épületen belüli – kiürítés alkalmával, szükségesszökökkel történő – mozgatására is. Tekintettel arra, hogy a hazai jogszabályi előírások egyértelműen meghatározzák az egyes résztervek tartalmi és formai követelményeit, ezen alapelveket minden egyes résztervben vagy kifejezetten a vonatkozó résztervben szükséges figyelembe venni. A jogszabály nem írja elő, azonban mindenképpen szükséges az alapterv készítése. Ez utóbbi egyebek mellett – a *Commandnak* megfelelően – meghatározza a válsághelyzeti tevékenység vezetői struktúráját, azaz létrejön a Válsághelyzeti Operatív Csoport (a továbbiakban: VOCS). A törzs céljai között az alábbiakat fogalmazhatjuk meg:

- összefogni és értékelni a beérkező információkat;
- meghatározni és visszaellenőrizni a feladatokat;
- folyamatosan (újra)értékelni a helyzetet, és ehhez igazítani az intézkedéseket;
- kapcsolattartás a külső együttműködő felekkel;
- dokumentálás;
- az információk, a kiadott feladatok és végrehajtásuk ellenőrzése.

A törzs tagjainak (a kompetens szakterületi vezetőknek):

- a kórház komplex üzemeltetését kell szem előtt tartaniuk;
- a válsághelyzeti terveket gondosan figyelembe kell venniük;
- intézkedési és döntési joggal kell rendelkezniük;
- a megfelelő információs infrastruktúrával és képességekkel kell bírniuk.

A törzs tagjai többségében a következők lehetnek: orvosszakmai vezető, adminisztratív vezető, ápolási vezető, műszaki vezető, biztonsági vezető, gazdasági vezető, kommunikációs vezető, valamint létfontosságú rendszerelem esetében a biztonsági összekötő.

Egy terv kidolgozásakor megpróbálunk minden eshetőségre felkészülni. A tervezés megkezdése előtt azonban fontos meghatározni a terv általános hatályát és céljait. A jó terv biztosítja, hogy a megfelelő emberek érkezzenek a megfelelő helyre a megfelelő időben, és ha ott vannak, el tudják látni azt a feladatot, amelyre kiképezték őket.¹⁶

A gyakorlatok megszervezésekor az első kihívás az volt, hogy megismerjük a szervezetet. Alapvető fontosságú, hogy megértsük a szervezetet, valamint a külső és belső együttműködők folyamatokra gyakorolt hatását és befolyásolhatóságukat. Ez az ismeret a tervezési folyamat első lépése, mivel ezen keresztül derül ki, hogy kikkel, milyen módon és milyen mértékben lehet tervezni a folyamatot. Ezt a feladatot az ÜBT készítése során elvégeztük.

Megállapítható, hogy a válsághelyzeti tervnek azonnal és reflexszerűen kell működnie az egyén szintjén. A jelenlegi gyakorlat alapján készült EVT-k erre nem alkalmasak, illetve nem alkalmasak olyan szinten, amelyből a különböző időszakokban (nappali/ügyeleti) egyértelműen kiderülhet a vezetés rendje vagy az utasításadási és eszkalációs sorrend. Mindezek mellett az egészségügyi válsághelyzetek a Cynefin-modell alapján az úgynevezett VUCA (*Volatile, Uncertain,*

¹⁶ MACKWAY-JONES–CARLEY 2019.

Complex, Ambiguous; változó, bizonytalan, összetett, kétértelmű) környezetnek felelnek meg.¹⁷

A gyakorlati példák következtetései, a HMIMMS-módszertan és az ismertetett vezetési alapelvek szerint elengedhetetlen egy-egy úgynevezett „akciókártya” elkészítése a tervezés során minden egyes értékgazda tekintetében a jogszabályban szereplő tervek mindegyike esetében. Az akciókártya elkészítése során javasolt azt előzetesen begyakoroltatni és apró beavatkozásokkal megfeleltetni az adott terv céljainak, továbbá a visszaoktatásokat is ennek mentén lebonyolítani. Tehát az akciókártyákat szükséges elkészíteni a VOCS tagjai számára, illetve az egyes beavatkozók, beavatkozó állományi csoportok számára is, valamint összefoglalóan egy-egy EVT-résztervre is.

Következtetések

A kutatómunka három fő kutatási probléma részletes vizsgálatára terjedt ki, amelynek része az ágazati létfontosságú rendszerekkel és létesítményekkel kapcsolatos szabályozás alkalmazhatóságának vizsgálata, valamint az üzemeltetői biztonsági tervezés és az egészségügyi válsághelyzeti tervezés egymást kiegészítő végrehajtási gyakorlatának uniós követelmények mentén történő, de a hazai kórházbiztonsági és szervezési rendszerre épülő fejlesztése volt.

A kutatás eredményei alapján az alábbi összegzett következtetéseket lehet levonni:

1. A fekvőbeteg-ellátással foglalkozó egészségügyi létfontosságú rendszerekkel és létesítményekkel kapcsolatos EU- és hazai szabályozás fejlődésének vizsgálata alapján megállapítható, hogy az egészségügyi szolgáltatók számos, a gyakorlati feladatellátást érintő jogalkalmazási problémával szembesülnek az európai uniós követelmények hazai jogrendbe történő átültetésekor.
2. Az EU speciális fekvőbeteg-ellátást érintő szabályozásának vizsgálata alapján levonható az a következtetés, hogy a CER-irányelv az egységes, harmonizált és szabványos végrehajtási eljárások és eszközök alkalmazását igényli. A jelenlegi ágazati létfontosságúrendszer-azonosítási kritériumok – különösen a területi ellátási kötelezettséghez és a kiváltó kórház közelségéhez fűződően – nem veszik figyelembe az egészségügyi

¹⁷ PORKOLÁB 2019.

ellátórendszer jelenlegi, komplex szervezési módszertanát. A kijelölt fekvőbeteg-ellátó kritikus infrastruktúrák rendszere ezáltal nem azonosíthatja pontosan a valódi kritikusinfrastruktúra-elemeket. A kórházbiztonsági szabványos megoldások – az összveszély-megközelítés elve alapján – kiterjednek a kockázatok taxatív értékelésére, az ágazati és alágazati kórházszervezési alapelvekre, ezért a tanulmányban javasolt létfontosságú rendszerelemek kijelölési eljárása és módszertana ágazatspecifikus módon kizárólag az egészségpolitikai érdek mentén dolgozható ki.

3. A hazai fekvőbeteg-ellátó egészségügyi létfontosságú rendszerelemek üzemeltetői biztonsági tervezési előírásai, ajánlásai és gyakorlata alapján a tanulmány kitért a koronavírus okozta világjárványnak a fekvőbeteg-ellátó intézmények komplex üzemeltetői biztonsági tevékenységére, valamint a jelenlegi tervrendszerek alkalmazhatóságára vonatkozó tapasztalatok összegzésére. A tervezés gyakorlati értékelése alapján megállapítható, hogy az ajánlásrendszer nem veszi figyelembe az ágazati sajátosságokat, továbbá a jelenlegi tervezési gyakorlat statikus, és nem folyamatalapú szemléletmódot alkalmaz.
4. Az egészségügyi válsághelyzeti tervezési gyakorlat elemzése és értékelése alapján megállapítható, hogy a kritikusinfrastruktúra-elemek esetében az üzemeltetői biztonsági tervezési gyakorlat során alapul kell venni az egészségügyi válsághelyzeti tervezési szempontrendszert. Ezentúl a jelenlegi tervezési gyakorlat statikus, nem folyamatalapú, valamint a tervek nem alkalmazhatók rugalmasan, valódi válsághelyzetek leküzdésére.

Felhasznált irodalom

1997. évi CLIV. törvény az egészségügyről
2012. évi CLXVI. törvény a létfontosságú rendszerek és létesítmények azonosításáról, kijelöléséről és védelméről
- 65/2013. (III. 8.) Korm. rendelet a létfontosságú rendszerek és létesítmények azonosításáról, kijelöléséről és védelméről szóló 2012. évi CLXVI. törvény végrehajtásáról
- 43/2014. (VIII. 19.) EMMI rendelet az egészségügyi intézmények egészségügyi válsághelyzeti terveinek tartalmi követelményeiről, valamint egyes egészségügyi tárgyú miniszteri rendeletek módosításáról. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1400043.emm>
- 246/2015. (IX. 8.) Korm. rendelet az egészségügyi létfontosságú rendszerek és létesítmények azonosításáról, kijelöléséről és védelméről

- Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2022/2555 irányelve (2022. december 14.) az Unió egész területén egységesen magas szintű kiberbiztonságot biztosító intézkedésekről, valamint a 910/2014/EU rendelet és az (EU) 2018/1972 irányelv módosításáról és az (EU) 2016/1148 irányelv hatályon kívül helyezéséről (NIS 2 irányelv)
- Az Európai Tanács 2008/114/EK Irányelve (2008. december 8.) az európai kritikus infrastruktúrák azonosításáról és kijelöléséről, valamint védelmük javítása szükségességének értékeléséről
- BEREK, Tamás – FÖLDI, László – PADÁNYI, József (2020): The Structure and Main Elements of Disaster Management System of the Hungarian Defence Forces, with Special Regard to the Development of International Cooperation. *AARMS*, 19(1), 17–26. Online: <https://doi.org/10.32565/aarms.2020.1.2>
- BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság [é. n.]: *Letölthető dokumentumok és kitöltési segédletek*. Online: www.katasztrofavedelem.hu/35635/letoltheto-dokumentumok-es-kitoltesi-segedletek
- BIRINYI, Edina et al. (2023): Contribution of Data-Driven Methods to Risk Reduction and Climate Change Adaptation in Hungary and Beyond. *Időjárás*, 127(4), 421–504. Online: <https://doi.org/10.28974/idojaras.2023.4.1>
- ISO 22301:2019 Társadalmi biztonság. Üzletmenet-folytonossági irányítási rendszerek
- MACKWAY-JONES, Kevin – CARLEY, Simon szerk. (2019): *Major Incident Medical Management and Support. The Practical Approach in the Hospital*. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell.
- MÉSZÁROS, István (2023a): Comparison of the Protection of Critical Healthcare Infrastructures in Germany and Hungary. *Hadmérnök*, 18(4), 97–107. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2023.4.7>
- MÉSZÁROS, István (2023b) The Evolution of the Normative Regulation in Hospital Safety and Security. *Hadmérnök*, 18(1), 43–57. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2023.1.4>
- MÉSZÁROS István – BOGNÁR Balázs (2021): Üzletmenet-folytonossági tervezés kórházi környezetben I. Üzleti hatáselemzés. *Hadmérnök*, 16(4), 201–214. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2021.4.15>
- MSZ EN ISO 22301:2019 Társadalmi biztonság, Üzletmenet-folytonossági irányítási rendszerek
- LÓDERER Balázs – RÁCZ Réka Magdolna (2011): A klímaváltozás és annak következményeire való felkészülés lehetséges jövőbeni aspektusai. *Hadtudományi Szemle*, 48(3), 91–98. Online: https://epa.oszk.hu/02400/02463/00010/pdf/EPA02463_hadtudomanyi_szemle_2011_3_091-098.pdf
- PORKOLÁB Imre (2019): *A stratégia művészete. Szervezeti innováció kiszámíthatatlan környezetben*. Budapest: HVG Könyvek.
- TÓTH Levente (2024): Hazai közterületi videomegfigyelő rendszerek állapota és fejlesztési lehetőségei. *Belügyi Szemle*, 72(2), 243–265. Online: <https://doi.org/10.38146/BSZ.2024.2.4>
- TÓTH Nikolett Ágnes (2017): A sportrendezvények biztosítása az elmúlt évszázad eseményeinek tükrében. *Gazdaság és Jog*, 25(1), 13–19. Online: <https://real.mtak.hu/107476/1/GazdasagAsport-rendezv.pdf>
- X TEK Területi Ellátási Kötelezettség Nyilvántartás [é. n.]. Online: <http://84.206.43.26:7080/ellatas/xtek/?jsessionid=c88c65c0f18e389fb666a043aee5?0>

A vízelosztó hálózatok hidrodinamikai hatékonyságának javítása geokódolási stratégiák mentén

A fenntartható és biztonságos települési vízellátás érdekében a hálózatok hidrodinamikai szempontú elemzése elengedhetetlen. A fogyasztási pontok térbeli elhelyezkedése és a fogyasztás időbelisége (menetgörbék) meghatározza a hálózaton belüli nyomásviszonyokat. Ennek segítségével a hálózati kritikus pontok (például a csőtörés veszélye a nagy hálózati nyomás miatt vagy a nagy tartózkodási idejű zónák) azonosíthatók, a beavatkozási lehetőségek kidolgozhatók. A hidrodinamikai modell jósága annak felbontottságától alapvetően függ. A valós viszonyokat leképező, földrajzi információs rendszereken (Geographic Information System, GIS) alapuló geokódolt topológiai modellel a fogyasztási arányszámok meghatározhatók, és a modellezési cél elérhető. A tanulmányban több lehetőséget körüljárva a legmegfelelőbb stratégiát dolgozzuk ki, amelynek során a vízforgalom meghatározható.

Kulcsszavak: vízellátó hálózat, geokódolás, hidraulikai modellezés, GIS, EPANET

IMPROVING THE HYDRODYNAMIC EFFICIENCY OF WATER DISTRIBUTION NETWORKS BASED ON GEOCODING STRATEGIES

A hydrodynamic analysis of the networks is crucial for a sustainable and safe urban water supply. The spatial distribution of consumption points and the variation of consumption over time ("water demand curves") determine the pressure relationships within the network. This allows the identification of critical points in the network (e.g. risk of burst pipes due to high network pressure or zones with high residence times) and the development of intervention options. The accuracy of the hydrodynamic model depends essentially on its resolution. With a geocoded topological model based on GIS techniques, which represents real conditions, consumption rates can be determined and the modelling objective achieved. The study explores several options to develop the most appropriate strategy to determine the water flow.

Keywords: water supply network, geocoding, hydraulic modelling, GIS, EPANET

Bevezetés

A kutatás központjában a magyarországi víziközmű-hálózatok állnak, különösen a vízágazati rendszerek, amelyek a nemzeti létfontosságú kritikus infrastruktúrák részei. Magyarországon a közműhálózatok szolgáltatásait ma már természetesnek vesszük, de fontos megértenünk azokat a tényezőket, amelyek hatással lehetnek a hálózatok állapotára. A vízellátó- és szennyvízcsatorna-hálózatok szerkezetének, valamint az ezekben végbemenő folyamatoknak a részletes ismerete létfontosságú a hosszú távú, fenntartható működés biztosítása érdekében. A gravitációs és nyomás alatt működő vezetékekben lezajló fizikai folyamatokat modern hálózathidraulikai modellezési technikákkal lehet pontosan meghatározni. Az ellátás során nemcsak a víz mennyiségének, hanem a megfelelő nyomásnak és a jogszabályok által előírt minőségi követelményeknek is meg kell felelni. A minőségi paraméterek tervezésében az anyagtranszport-modellezés játszik szerepet, amelynek hatékonysága nagymértékben függ a hidrodinamikai modell pontosságától.

A hazai ivóvízellátó hálózat több mint 92 ezer kilométer hosszú, amelynek jelentős része az 1960-as, 1970-es években készült azbesztcement csővezetékekből áll, ezek alkotják a hálózat kétharmadát. A fennmaradó részt az 1970 után telepített – túlnyomórészt – KM-PVC csővezetékek teszik ki. Az azbesztcement csövek tervezett élettartama 30–40 év, míg a KM-PVC vezetékeké körülbelül 40 év. A MAVÍZ statisztikái szerint 2017-ben az egy kilométerre jutó meghibásodások száma országos szinten 1,34 volt, míg 2012-ben még csak 0,61.

Napjainkban a hazai vízellátó hálózatok többsége alulterheltnek számít, mivel kiépítésükkor az akkor előrevetíthető (több évtizeddel ezelőtti) állapotokat és előrejelzéseket vették alapul. Ezzel ellentétben a nagyvárosi agglomerációkban más tendencia figyelhető meg: itt, különösen Budapest környékén a közműszolgáltatók nagy kihívásokkal szembesülnek, amikor a csúcsfogyasztás idején a megfelelő mennyiségű és nyomású szolgáltatást kell biztosítaniuk.

A hazai ivóvízhálózat állapotának alapos ismerete elengedhetetlen annak érdekében, hogy a jövőbeli tervezés megfelelő szakmai alapokon nyugodjon, és az üzemeltetési követelményeket, valamint a víziközmű-infrastruktúrák ellátásbiztonságát biztosítani lehessen. A kutatás célja ezen ismeretek feltárása és rendszerezése, kiemelt figyelmet fordítva a közműszolgáltatók különböző nyilvántartási rendszereiben tárolt adatok hatékony feldolgozására, valamint a feldolgozási módszertanok fejlesztésére a bemenő adatok pontosítása érdekében. Az adatok integrálása és elemzése lehetőséget teremt a megelőző karbantartási stratégiák kidolgozására is. A kutatás továbbá arra törekszik, hogy a hálózathidraulikai

modellek hatékonyságát növelje, ezáltal hozzájárulva a víziközmű-hálózatokkal kapcsolatos mérnöki feladatok megoldásához. Emellett alapot kíván nyújtani a katonai táborok vízellátási kérdéseinek kezeléséhez, a haváriahelyzetekben alkalmazott vízellátási módszerek kidolgozásához, valamint egyéb kapcsolódó területek vizsgálatához és tervezéséhez.

Az eddigi eredmények alapján a számlázási adatokat alapul véve a fogyasztások térbeli és időbeli jellege hatékonyan és nagy pontossággal közelíthető, ami lehetővé teszi a jelenlegi hálózathidraulikai módszertanok fejlesztését, a célfeladatok pontosabb és gyorsabb megoldását.

Magyarország ivóvízellátó hálózatának fejlődése

Történeti visszatekintés

Magyarország vízellátó hálózata évszázadok alatt érte el jelenlegi formáját, kezdve a rómaiak által épített első vízvezetékekkel. A középkorban is épültek vízvezetékek, de a jelentős fejlődés a 19. század második felében kezdődött a modern technológiák megjelenésével.¹

A vízellátó hálózatok kiépítését a természetes vízforrások és a topográfiai viszonyok befolyásolták. A 20. század második felében jelentős technikai fejlődés következett be, ami növelte a vízszerezés, -kezelés és -elosztás hatékonyságát. A közegészségügyi követelmények szigorodása is támogatta a vízellátó rendszerek modernizációját. Napjainkban is jelentős területi különbségek vannak a vízellátás minőségében és megbízhatóságában, ezért alapvető fontosságú a hatékonyság növelése és a vízhasználat racionalizálása.²

A római kori vízellátó rendszerek a birodalom bukása után hanyatlásnak indultak. A középkorban új megoldásokra volt szükség, különösen a királyi udvarok és várak számára. A 17. században kezdődött a vízellátás modernizálása, amelyet a 19. századi iparosodás és kolerajárványok tovább gyorsítottak. Az első modern vízvezeték Zólyomfaluban épült 1800-ban.³

Budapest első közműves vízellátási rendszere 1856-ban létesült. 1867-ben a kolerajárvány hatására megépítették Pest város vízművét. A budai oldalon 1881-ben

¹ BERTÓK et al. 2006.

² EÖRDÖGHNÉ MIKLÓS 2013.

³ SCHUSTLER 1897.

épült meg az első jelentős vízmű, amely 1884-ben kapcsolódott össze a pesti vízhálózattal.⁴

A 20. század elején a közutak rendszere elegendő volt, de a népsűrűség növekedésével szükségessé vált az elosztóhálózat bővítése, a házi bekötő vezetékek kiépítése. A vízművek tervezése során a német példák szolgáltak alapul, de hazai igényekhez igazították.

A Közegészségügyi Mérnöki Osztály kulcsszerepet játszott a vízvezetékek tervezésében és kivitelezésében. A közműves vízellátás fejlődését az állami támogatás és a hidrogeológiai tudományok előrehaladása is segítette. Az első világháború után az ország közigazgatási és finansziális viszonyai radikálisan megváltoztak. Az 1920-as évek közepén a Speyer-kölcsön révén új lehetőségek nyíltak meg a vízművek fejlesztésére. Azonban az 1930-as években még továbbra is vízellátási nehézségekkel küzdött az ország.⁵

A II. világháború súlyos károkat okozott Magyarország vízellátó rendszereiben, különösen a városi vízművekben. Budapest ostroma során a város vízellátása súlyosan sérült, a főnyomó- és elosztóvezetékek megrongálódtak, és a hidak felrobbantása jelentős fővezetékek megsemmisüléséhez vezetett. A helyreállítási munkák lassan haladtak, de 1947-re sikerült a legnagyobb károkat helyrehozni. Vidéki városokban, mint Győr, Szolnok, Debrecen, Miskolc és Szombathely, szintén jelentős károkat okozott a háború. Az országos helyreállítási munkák 1947-re többnyire sikeresek voltak, bár néhány helyen még hosszabb ideig tartott a teljes újjáépítés.

A háború után az újjáépítés és a szocialista államszervezet kialakítása került középpontba. Az 1945-ben megalakult Országos Vízgazdálkodási Hivatal (OVH) a vízügyek államosítását és a fejlesztések állami finanszírozását jelentette.⁶ Bár szükség lett volna a vízművek fejlesztésére, a pénzügyi források hiánya miatt csak néhány városban valósultak meg jelentősebb beruházások. A háború utáni időszak legjelentősebb vízműépítési projektje Kecskeméten zajlott.

Az 1950-es években az iparfejlesztések nagy nyomást helyeztek a városi vízművekre. Az ipari centrumok mellett új ipari központok is kialakultak, például Dunaújváros és Tiszaújváros, amelyek szintén jelentős vízigényt generáltak. Az 1960-as és az 1990-es évek között Magyarország jelentős erőfeszítéseket tett a vízellátás fejlesztésére. A gazdasági növekedés, az urbanizáció és az életminőség iránti igények növekedése szükségessé tette a korszerű vízellátó rendszerek kiépítését.

⁴ DÓKA 1976.

⁵ BERTÓK et al. 2006.

⁶ NAGY 1970.

Az 1990-es években Magyarország vízellátási rendszere jelentős fejlesztéseken ment keresztül, amelyek során új vízművek épültek, korszerű technológiákat (búvárszivattyúk, víztornyok) vezettek be, és regionális vízhálózatokat alakítottak ki. A vízminőség javítása érdekében modern vízkezelő műveket telepítettek, például a csepeli vízműnél. Kistérségi rendszereket hoztak létre a vízellátás biztonságának növelésére, és szigorú intézkedéseket vezettek be a vízbázisok védelmére. Az EU-csatlakozás szigorúbb előírásai, valamint a társadalmi és gazdasági változások is ösztönözték ezeket a fejlesztéseket.

Napjainkban a hazai települések vízellátása szinte teljesnek mondható. Az elmúlt évtizedekben jelentős hálózatbővítés és regionális rendszerek kialakítása valósult meg, főként pályázati forrásokból. A Központi Statisztikai Hivatal (KSH) 1990 és 2022 közötti adatai alapján a vízellátó hálózat hossza jelentősen növekedett, 51 317 kilométerről 67 663 kilométerre. A legnagyobb növekedés a közép-magyarországi régióban történt. A lakásállomány növekedése több bekötést és hosszabb vezetékszakaszokat igényelt. 1990-ben 2 848 895 ingatlan rendelkezett bekötéssel a közcsontra-hálózatra (73%), 2022-re ez a szám 4 362 657-re nőtt (95%). A legnagyobb bekötésszám-növekedés a közép-magyarországi régióban volt, különösen 1993-ban tapasztalhatunk kiugró értéket az adatokban. A vízellátás fejlődése jó ütemben halad, de a közműolló soha nem éri el a 100%-os értéket, mivel nem minden ingatlan esetében indokolt a hálózatra való rákötés (üdülőterületek, tanyaák stb.).⁷

Feltárt folyamatok és trendek

Az 1990-es évek politikai és gazdasági változásai átalakították a víziközmű-szolgáltatásokat, amelyek az önkormányzatok hatáskörébe kerültek. Az állami vagyon nagy része önkormányzati és gazdasági társaságok tulajdonába került, így megnőtt a szolgáltatók száma.⁸ Az EU-csatlakozás után Magyarország jelentős támogatásokat kapott a víziközmű-fejlesztésekre, különösen a vízminőségi előírások teljesítése érdekében, ami a 2000-es években nagy beruházásokat hozott.⁹

Kutatásunk során áttekintettük a 2000-es évektől napjainkig rendelkezésre álló adatokat. A szolgáltatók száma 400 fölött volt,¹⁰ de ma már csak 37 vállalat

⁷ ORGOVÁNYI–DALKÓ 2019.

⁸ KPMG 2020.

⁹ ORGOVÁNYI 2023.

¹⁰ KPMG 2015.

működik.¹¹ Magyarország gazdag vízforrásokban, de folyóink nagy része külföldről érkezik, és a beérkező és kilépő mennyiségek viszonya alapján szárazodási tendenciát tapasztalhatunk.¹² Vízellátás szempontjából a mélységi vizek előnyösebbek a felszíni vizeknél, mivel kevésbé szennyezettek és stabilabb ellátást biztosítanak a legtöbb esetben. A vízkészletek fenntartható kezelése és védelme kiemelt fontosságú.¹³

A nagyobb kapacitásra tervezett ellátóhálózatok az ország jelentős részén túlméretezettek, ami a másodlagos vízminőség romlásához vezethet. A nagyobb átmérő miatt lassabb a vízmozgás, ami hosszabb tartózkodási időt jelent. Ezzel szemben a Budapest környéki településeken jelentős lakosságnövekedés figyelhető meg, ami nagyobb vízigényt és a hálózat túlterhelését okozza. A sűrűn beépített területek fokozzák ezt a problémát, különösen nyáron, amikor nyomáscsökkenés és vízhiány léphet fel a megnövekedett mennyiségi igények miatt.

A jelenlegi helyzet átfogó szemléletet és alapos tervezést igényel a jövőbeni megfelelő állapotok biztosítása érdekében, különösen a romló közmű-infrastruktúra és a forráshiányos szolgáltatók miatt. Javaslom a víziközmű-hálózatok egységes, standardizált modellezési megközelítését, különös tekintettel a térinformatikai módszerekre.¹⁴ A közművek nyilvántartása ugyan egységes alapokon működik közel egy évtizede,¹⁵ de a szoftverkörnyezetek különbözősége és a pontatlan adatrögzítés még mindig kihívást jelent. A vagyonértékelés kulcsfontosságú az üzemeltetés szempontjából, az objektumszintű vagyonleltár pedig a fejlesztési és üzemeltetési döntések alapja.

A települési vízellátó hálózatok hidraulikai modellezése

Az elmúlt évtizedek során a települési vízellátó hálózatok hidraulikai modellezése jelentős fejlődésen ment keresztül. Míg a korai modellek egyszerű, kézi számításokon és alapvető áramlási, valamint nyomásfeltevéseken alapultak, a számítógépes technológia elterjedésével ezek egyre összetettebbé váltak. Ma már kifinomult

¹¹ Állami Számvevőszék 2024.

¹² ORGOVÁNYI–BERGER 2022.

¹³ EurEau 2021.

¹⁴ ORGOVÁNYI–SALAMON 2019.

¹⁵ PAPP et al. 2008.

algoritmusokat és valós idejű adatelemzést alkalmaznak, amelyek nagymértékben javítják a hálózatok teljesítményének előrejelzését és optimalizálását.¹⁶

A hidraulikai modellezés fejlődése több szakaszra osztható. Az 1980 előtti időszakban alapvetően kézi számítások és empirikus képletek szolgáltak a vízellátó rendszerek áramlási és nyomási értékeinek becslésére. Az 1980-as és 1990-es évek fordulópontot jelentettek a számítógépes tervezés (*Computer-Aided Design, CAD*) és a szimulációs szoftverek, például az EPANET bevezetésével, amelyek lehetővé tették a részletesebb és pontosabb modellezést. A 2000-es évektől kezdve a modern időszakban a GIS-ek integrációja, a valós idejű adatgyűjtés, valamint a gépi tanulás és az optimalizációs algoritmusok bevezetése tovább növelte a hidraulikai modellek képességeit és pontosságát.¹⁷

Napjainkban a hidraulikai modellezés több kulcsfontosságú területre összpontosít. Az intelligens vízhálózatok kialakításában úgynevezett *tárgyak internete* (*Internet of Things, IoT*)-eszközöket és egyéb érzékelőket integrálnak a rendszerek valós idejű felügyeletéhez és vezérléséhez.¹⁸ Az adatvezérelt modellezés egyre nagyobb szerepet kap, amely nagy mennyiségű adat feldolgozásával és gépi tanulás alkalmazásával előre jelzi a rendszer várható viselkedését, valamint proaktívan azonosítja a lehetséges problémákat. A fenntartható és rugalmas tervezés célja olyan modellek kifejlesztése, amelyek képesek megfelelően kezelni a szélsőséges körülményeket, beleértve az éghajlatváltozás következtében létrejövő változásokat és egyéb természeti katasztrófákat. A vízminőségi modellezés szintén folyamatosan fejlődik, hogy pontosabban előrejelezze a hálózaton belül a reakcióképes és nem reakcióképes anyagok mozgását és kölcsönhatását.¹⁹

A vízellátó hálózatokon jelentkező vízvesztés egy súlyos probléma, és ennek felderítésére, valamint mérséklésére több módszert alkalmaznak. Az akusztikus szenzorok és nyomásérzékelők például szivárgások azonosítására szolgálnak,²⁰ míg statisztikai és gépi tanulási módszerekkel az áramlási adatok elemzését végzik a szivárgásokra utaló minták azonosítása érdekében. A távérzékelési technológiák, mint a műholdas és a dróntechnológia, szintén fontosak a nagy kiterjedésű hálózatokon előforduló rendellenességek észlelésében.²¹

¹⁶ ROSSMAN 2000.

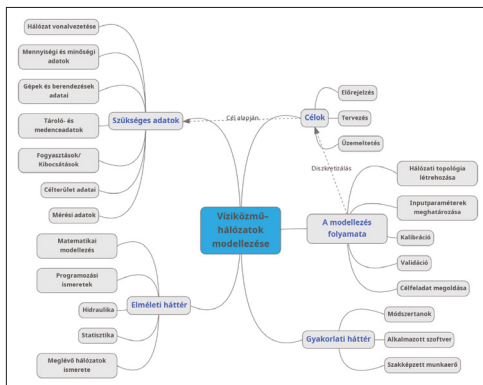
¹⁷ ORMSBEE 2006.

¹⁸ CREACO et al. 2019.

¹⁹ SARISEN et al. 2022.

²⁰ FARLEY-TROW 2003.

²¹ PUUST et al. 2010.



15.1. ábra. A víziközmű-hálózatok modellezési fogalomtérképe

Forrás: a szerző szerkesztése

A vízellátó hálózatok meghibásodásainak felderítése különféle diagnosztikai eszközökkel történik, például nyomás- és áramlásfelügyeléssel, hogy folyamatosan nyomon kövessék a meghibásodásra utaló jelentős változásokat.²² Hidraulikai szimulációkat is alkalmaznak a meghibásodási pontok előrejelzésére, a múltbeli adatok és a jelenlegi hálózati paraméterek alapján. A modelljósításokat gyakran helyszíni vizsgálatokkal kombinálják a hibák pontos lokalizálása és kijavítása érdekében.²³

A 15.1. ábra a vízellátó hálózatok modellezésének összetett kapcsolati rendszerét mutatja be. Az ábrán jól látható, hogy a folyamat bonyolultsága miatt bármely tényező minőségi hibája negatívan befolyásolhatja a végeredményt. Az is nyilvánvaló, hogy a szakképzett mérnök szerepe, akinek megfelelő szakértelme van, jelenleg kulcsfontosságú a teljes folyamatban, és ez várhatóan még hosszú ideig így marad. Azonban a megfelelő tudás alkalmazásával a folyamatokat dinamikusabbá és költséghatékonyabbá tehetjük, ami jelen kutatás központi fókuszát képezi.

Számos nemzetközi tanulmány foglalkozik a hálózathidraulikai modellek diszkrétizálásával, ahol a bemeneti adatok pontossága alapvetően meghatározza a kimeneti eredményeket. Tapasztalat és tudás birtokában a topológia és egyéb inputparaméterek helyes megválasztásával elérhetjük céljainkat, miközben minimalizáljuk az élőmunka- és számításkapacitás-igényt, így növelve a hatékonyságot.

²² MISIUNAS et al. 2006.²³ COLOMBO–KARNEY 2002.

Giustolisi és társai az *Enhanced Global Gradient Algorithm* (EGGA) alkalmazásával jelentős számítási hatékonyságot értek el nagy vízellátó hálózatok esetében, anélkül, hogy a kimeneti pontosság romlott volna.²⁴ A kutatás során ez a kérdéskör kiemelt szerepet kap, különös tekintettel a diszkretizációs szint meghatározására.

Ingeduld és társai az EPANET forráskódját módosították, hogy alacsony nyomású vagy nem folyamatosan nyomás alatt álló hálózatokat is modellezni lehessen. Bár hazánkban ez ritkán jelent problémát, haváriahelyzetekben fontos lehet az ilyen hálózatok kezelése. A szerzők a módosított EPANET-et Shillong (India) és Dhaka (Banglades) városának bonyolult vízellátó rendszerén tesztelték, hogy elősegítsék a hálózatok rekonstrukcióját és a folyamatos vízellátás elérését.²⁵

Kutatásom fő iránya a GIS-alkalmazások adaptációja a hazai viszonyokra és a modern szoftveres környezet dinamikus használata. Yu és társai bemutatták, hogyan integrálható a GIS-technológia az EPANET modellel egy városi vízellátó hálózat tervezésében és elemzésében. Eredményeik azt mutatták, hogy a GIS és az EPANET kombinációja növeli a hidraulikai számítások hatékonyságát és pontosságát.²⁶

A vízellátó hálózatokon jelentkező veszteségek

A közüzemi vízhálózatok hatékony működése és fenntarthatósága kulcsfontosságú a városi infrastruktúrák számára. Az elöregedő hálózatok és a nem megfelelő karbantartás jelentős vízvesztést okoz, ami gazdasági és környezetvédelmi szempontból egyaránt problémás. A hazai statisztikák szerint a hálózati veszteség 20–30%, de egyes területeken akár 60% is lehet. Kutatásunk szerint a térinformatikai adatbázisok használata jelentősen javíthatja a vízhálózatok veszteségelemzésének hatékonyságát. A GIS-alapú megközelítéssel pontosabban követhető nyomon a veszteségek térbeli eloszlása, ami gazdasági előnyökkel jár a közműszolgáltatók számára, mivel csökkenti a szükséges vízmennyiséget, ezáltal költségmegtakarítást eredményezve, és hozzájárul a vízkészletek fenntarthatóbb felhasználásához.²⁷ A hálózati meghibásodások súlyos vízvesztést okozhatnak, például egy 1 mm-es lyuk évi 500 m³, míg egy 3 mm-es lyuk akár 4200 m³ veszteséget is jelenthet átlagosnak mondható hálózati nyomás mellett.²⁸ Magyarországon a vízvesztéség

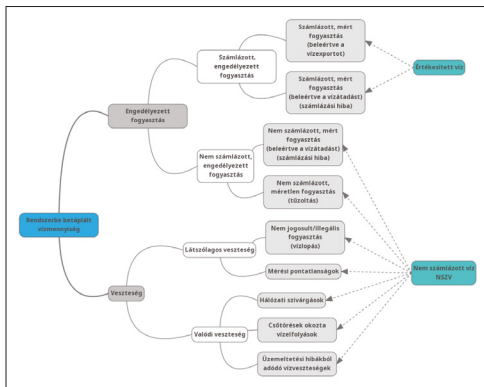
²⁴ GIUSTOLISI et al. 2012.

²⁵ INGEDULD et al. 2006.

²⁶ YU et al. 2010.

²⁷ ORGOVÁNYI 2023.

²⁸ FÁBRIK 2017.



15.2. ábra. Veszteség-fogalomtérkép

Forrás: IWA 2002 alapján a szerzők szerkesztése

mértéke átlagosan 22%, ami évi 144 millió m³ vízvesztést jelent. Az EU-ban Magyarország 2012–2015 között a 15., míg 2021-ben már a 9. helyen állt a veszteségek szempontjából.²⁹ A fajlagos veszteség is nőtt, 2017-ben 1500 m³/km/év volt, 2021-re pedig 3000 m³/km/év-re emelkedett, míg az EU-átlag 2696 m³/km/év.³⁰

A veszteségek vízellátásban használatos rendszerezését a 15.2. ábra szemlélteti. A veszteségeket érdemes helyi szinten vizsgálni, nem pedig országos vagy regionális szinten, hogy könnyebben azonosíthatók legyenek a kiugró értékek. A rendszerbe betáplált víz két fő kategóriára osztható: engedélyezett fogyasztásokra és veszteségekre. Az engedélyezett fogyasztások lehetnek számlázottak vagy nem számlázottak.³¹ A számlázott fogyasztás az értékesített vízmennyiséget jelenti, míg a nem számlázottak közé tartoznak a számlázási hibák és a tűzoltásra használt vízmennyiségek. A veszteségek látszólagos és valós veszteségekre oszlanak: előbbiek közé tartoznak az illegális fogyasztások és a mérési pontatlanságok, utóbbiak pedig hálózati szivárgásokból, csőtörésekből és üzemeltetési hibákból erednek.

A veszteségek 25%-át nehezen észrevehető háttérszivárgások teszik ki, míg 30%-át a műszerekkel felderíthető szivárgások alkotják, és 45%-át a látható szivárgások adják, amelyek azonnali beavatkozást igényelnek. Az éves valós veszteségeket (CARL) csak bizonyos szintig lehet technikailag csökkenteni, amit elkerülhetetlen

²⁹ EurEau 2017, 2021.³⁰ EurEau 2021.³¹ LAMBERT 2002.

veszteségnek (UARL) neveznek, de gazdaságilag célszerűbb az optimális veszteség-szintet meghatározni, amely az IWA szerint átlagosan 20% körül van.

A veszteségek jellemzésére több módszer is létezik, például a fajlagos hálózati veszteség-érték és a nem számlázott víz (NSZV) mutatója, amely a CARL/UARL arány alapján számítható. Az infrastruktúra-szivárgási index (ILI) nemzetközileg előnyben részesített, mivel figyelembe veszi a rendszer sajátosságait. Az IWA 2022-ben támogatta az ILI alkalmazását, összhangban a 2020/2184 EU irányelvvel, amely egységes értelmezést követel meg.³² Az EU-tagállamoknak 2026-ig kell értékelniük a szivárgási szinteket, és jelentést készíteniük, 2028-ig meghatározzák az egységes szivárgási küszöbértéket, és 2030-ig cselekvési tervet kell készíteniük a szivárgások csökkentésére.

A geokódolás alkalmazása a hidraulikai modellezés területén

A geokódolás, más néven térbeliesítés olyan folyamat, amely során egy címhez hozzárendeljük a megfelelő földrajzi koordinátákat. Ez hasonló ahhoz, amikor papírtérképeken neveket keresünk névmutató segítségével. A webes térképek és navigációs rendszerek korában a címek és nevek geokódolása mindennapos tevékenységgé vált.³³ A geokóder szoftver ehhez referenciatáblákat használ, amelyek nevek és koordináták párosításait tartalmazzák. Az adatoknak megfelelő formátumban kell rendelkezésre állniuk, hogy a geokódolás sikeres legyen. Azonban a különböző írásmódok miatt gyakran hibák fordulnak elő, például elírások vagy régi közterületnevek használata.³⁴ Az inverz geokódolás során a már ismert földrajzi koordináták alapján keresünk címadatokat, például adott ponthoz legközelebbi épületet vagy utcát.³⁵

Hosszas mintaterület-feltárás után a BÁC SVÍZ Zrt. működési területén található Ladánybene település víziközmű-adatait használtam kutatásom kezdeti fázisában. Kis területi kiterjedése és a népességszám (1741 fő) adatai ideálissá tették a módszerek tesztelésére.³⁶ Kutatásunk célja annak bemutatása volt, hogyan lehet a fogyasztási adatokat a vízellátó hálózati hidraulikai modell csomópontjaihoz igazítani GIS-alapú technikákkal, ezzel növelve a modellezési pontosságot és csökkentve a feldolgozási időt.

³² IWA 2022.

³³ HORVÁTH 2017.

³⁴ PRAJCZER 2010.

³⁵ HORVÁTH 2017.

³⁶ KSH 2022.

A vízmérő adatok használata ideális lenne, de a jelenlegi adatbázisok ezt csak részben teszik lehetővé, erre az általunk adaptált geokódolási módszer kínál megoldást. A számlázási rendszer adataihoz szükséges a címek pontosítása és geokódolása, amelyet a Google címadatbázisa segítségével végeztünk el erre a célra adaptált és fejlesztett módszertan alapján. A geokódolt fogyasztási pontokat térképen jelenítettük meg, és a folyamat körülbelül 1,5 órát vett igénybe. A geokódolás után a vízellátó hálózati modell struktúráját dolgoztuk ki, különböző topológiai egyszerűsítéseket alkalmazva a gyorsabb adatfeldolgozás érdekében.

A fogyasztási adatok térbeli eloszlásához több megközelítést is alkalmaztunk. Az egyik a számtani átlag módszere, amely egyszerűen elosztja a fogyasztási adatokat a hálózat csomópontjai között, míg a másik a fogyasztási körzetek kijelölése, amelyet a terület sajátosságai alapján végeztünk el. Ebben a kategóriában háromféle módszertannal határoztuk meg a hálózati csomópontok hatásterületeit. A jelenlegi gyakorlatban legtöbb esetben használt módszertanhoz hasonlóan utcák szerint különítettük el a hatásterületeket, ahol ha adott hatásterületen belül több hálózati csomópont is található, akkor a darabszámuk függvényében osztottuk el a területhez tartozó fogyasztási mennyiségeket. A következő lehatárolás esetében manuális módszerrel meghatároztuk az egyes csomópontok egymáshoz viszonyított távolságát, és hatásterületeik határait a távolságok felénél vettük fel. Térinformatikai szoftver segítségével Thiessen-poligonokat generáltunk a csomópontok alapján, amelyek területe alkotta a negyedik és egyben utolsó lehatárolást.

A geokódolt fogyasztói adatokat a hatásterületekhez rendeltük, és vizsgáltuk azok különbségét a teljes mértékben manuális módon előállított hatásterület esetében kapott körzeti fogyasztási mennyiségekhez képest. Az eredmények alapján a számtani átlag módszere a legpontatlanabb, itt tapasztaltuk a legnagyobb eltérést. Ez a módszer jellegéből is adódhat. Alkalmazása csak nagyon ritka esetben, csak sakktáblaszerű településeken vagy településrészekben adhat megfelelő eredményt, amelyek a valóságban ritkák. Pontosság tekintetében eredményeink alapján a következő az utcák szerinti felbontás volt. Ezt követte a Thiessen-poligonokkal történő területlehatárolás, amely minimális eltérést mutatott a manuális módszerhez képest.

A GIS-alapú Thiessen-poligonok módszere hasonló eredményeket adott, mint a manuális módszer, de gyorsabb és automatizálható módon. A GIS-alapon hatékonyan elvégezhető, Thiessen-poligonokkal történő hatásterület-lehatárolás az eredmények alapján gyorsan és pontos eredményekkel alkalmazható.³⁷

³⁷ ORGOVÁNYI–KARCHES 2024.

Felhasznált irodalom

- Állami Számvevőszék (2024): *Jelentés. Nemzeti Vízstratégia megvalósítására hozott intézkedések ellenőrzése. Ivóvíz-gazdálkodás ellenőrzése*. Budapest: Állami Számvevőszék. Online: <https://asz.hu/dokumentumok/24004.pdf>
- BERTÓK László et al. (2006): *Az ivóvíz honfoglalása. A közműves ivóvízellátás fejlődése Magyarországon a római kortól napjainkig*. Budapest: Magyar Víziközmű Szövetség.
- COLOMBO, Andrew F. – KARNEY, Bryan W. (2002): Energy and Costs of Leaky Pipes: Toward Comprehensive Picture. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 128(6), 441–450. Online: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2002\)128:6\(441\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2002)128:6(441))
- CREACO, E. et al. (2019): Real Time Control of Water Distribution Networks: A State-of-the-Art Review. *Water Research*, 161, 517–530. Online: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.06.025>
- DÓKA Klára (1976): A pesti vízvezeték tervei (1857–1868). *Technikatörténeti Szemle*, (8), 19–37.
- EÖRDÖGHNÉ MIKLÓS Mária (2013): *A lakossági vezetékes vízfogyasztás földrajzi sajátosságai Magyarországon*. PhD-értékezés. Pécs: Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kar Földtudományok Doktori Iskola. Online: <https://pea.lib.pte.hu/bitstream/handle/pea/15020/eordoghne-miklos-maria-tesis-hun-2013.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- EurEau (2017): *Europe's Water in Figures. An Overview of the European Drinking Water and Waste Water Sectors*. Brussels: The European Federation of National Associations of Water Services. Online: www.eureau.org/resources/publications/1460-eureau-data-report-2017-1/file
- EurEau (2021): *Europe's Water in Figures. An Overview of the European Drinking Water and Waste Water Sectors*. Brussels: The European Federation of National Associations of Water Services. Online: <https://www.eureau.org/resources/publications/eureau-publications/5824-europe-s-water-in-figures-2021/file>
- FARLEY, Malcolm – TROW, Stuart (2003): *Losses in Water Distribution Networks: A Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control*. London: IWA Publishing. Online: <https://doi.org/10.2166/9781870402642>
- FÁBRIK Tamás (2017): Az értékesítési különbözet csökkentésének módszertana. *Vízű Panoráma*, 25(4), 10–13. Online: https://epa.oszk.hu/04000/04052/00027/pdf/EPA04052_vizmu_panorama_2017_04_10-13.pdf
- GIUSTOLISI, Orazio et al. (2012): Computationally Efficient Modeling Method for Large Water Network Analysis. *Journal of Hydraulic Engineering*, 138(4), 313–326. Online: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000517](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000517)
- HORVÁTH Attila (2017): *A geokódolás szerepe az adatbázis alapú digitális térképek világában. Geokódoló szolgáltatások*. Diplomamunka. Budapest: Eötvös Loránd Tudományegyetem Informatikai Kar Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék. Online: http://lazarus.elte.hu/hun/digkonyv/szakdolgozat/2017-msc/horvath_attila.pdf
- INGEDULD, Petr et al. (2006): Modelling Intermittent Water Supply Systems with EPANET. In BUCHBERGER, Steven G. et al. (szerk.): *Water Distribution Systems Analysis Symposium 2006*. Cincinnati, OH: ASCE. Online: [https://doi.org/10.1061/40941\(247\)37](https://doi.org/10.1061/40941(247)37)
- IWA (2022): IWA Water Loss Specialist Group Position Statement: Use of the Infrastructure Leakage Index in EU Directives and Regulations. *International Water Association*, 2022. március 30. Online: <https://iwa-network.org/news/iwa-water-loss-specialist-group-position-statement-use-of-the-infrastructure-leakage-index-in-eu-directives-and-regulations/>

- KPMG (2015): *A magyar víziközmű ágazat bemutatása – átfogó tanulmány (módosított verzió)*. Budapest: Magyar Víziközmű Szövetség. Online: www.maviz.org/system/files/kpmg-maviz_vizikozmu_agazati_helyzetkep_20150513.pdf
- KPMG (2020): *Helyzetfelmérés a hazai víziparról*. Budapest: Magyar Víziközmű Szövetség. Online: www.maviz.org/system/files/maviz_vizipari_tanulmany_frissített_202011_final_public.pdf
- LAMBERT, Allan O. (2002): International Report: Water Losses Management and Techniques. *Water Supply*, 2(4), 1–20. Online: <https://doi.org/10.2166/ws.2002.0115>
- MISIUNAS, Dalius et al. (2006): Failure Monitoring in Water Distribution Networks. *Water Science & Technology*, 53(4–5), 503–511. Online: <https://doi.org/10.2166/wst.2006.154>
- NAGY László szerk. (1970): *A vízgazdálkodás fejlődése*. Budapest: TIT.
- ORGOVÁNYI Péter (2023): Közütemi vízellátó hálózatok veszteségelemzésének hatékonyságnövelése térinformatikai módszerrel. *Műszaki Katonai Közöny*, 33(1), 95–105. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2023.1.7>
- ORGOVÁNYI Péter – BERGER Ádám (2022): A klímaváltozás hatásai és mérséklési lehetőségeik a Homokhátsági tájegységen. In *XXVII. Ifjúsági Napok. Programfüzet*. Baja: Magyar Hidrológiai Társaság – NKE VTK.
- ORGOVÁNYI Péter – DALKÓ Ilona (2019): A csatornázottság hazai helyzete statisztikai adatok alapján. *Védelem Tudomány: Katastrófavédelmi Online Tudományos Folyóirat*, 4(4), 154–166. Online: <https://ojs.mtak.hu/index.php/vedelemtudomany/article/view/13366/10792>
- ORGOVÁNYI, Péter – KARCHES, Tamás (2024): GIS-Based Model Parameter Enhancement for Urban Water Utility Networks. *Urban Science*, 8(2), 35. Online: <https://doi.org/10.3390/urbansci8020035>
- ORGOVÁNYI Péter – SALAMON Endre (2019): Térinformatika alkalmazása víziközműves szakmai tárgyak oktatása során. In MOLNÁR Vanda Éva (szerk.): *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában*. Debrecen: Debreceni Egyetemi Kiadó, 233–238. Online: http://giskonferencia.unideb.hu/arch/GIS_Konf_kotet_2019.pdf
- ORMSBEE, Lindell E. (2006): The History of Water Distribution Network Analysis: The Computer Age. In BUCHBERGER, Steven G. et al. (szerk.): *Water Distribution Systems Analysis Symposium 2006*. Cincinnati, OH: ASCE. Online: [https://doi.org/10.1061/40941\(247\)3](https://doi.org/10.1061/40941(247)3)
- PAPP Mária et al. (2008): *Minta terv készítése, minta tartalmi elemek a vízellátó rendszerek rekonstrukciós tervének összeállításához. A magyarországi vízellátó rendszerek rekonstrukciós tervezésének főbb elemei*. Budapest: Magyar Víziközmű Szövetség.
- PRAJCZER Tamás (2010): Geokódolás. *Térképek. Ptolemaisztól a Google Maps API-ig*, 2010. február 21. Online: www.terkepem.blogspot.com/2010/02/geokodolas.html
- PUUST, Raido et al. (2010): A Review of Methods for Leakage Management in Pipe Networks. *Urban Water Journal*, 7(1), 25–45. Online: <https://doi.org/10.1080/15730621003610878>
- ROSSMAN, Lewis A. (2000): *EPANET 2. Users manual*. Cincinnati, OH: United States Environmental Protection Agency National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development.
- SARISEN, Dondu et al. (2022): Review of Hydraulic Modelling Approaches for Intermittent Water Supply Systems. *AQUA – Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 71(12), 1291–1310. Online: <https://doi.org/10.2166/aqua.2022.028>
- SCHUSTLER József (1897): Városok vízellátása és csatornázása az ezredéves országos kiállításon. *A Magyar Mérnök és Építész Egylet Közönye*, 31(1–12), 16–22.
- YU, Tian et al. (2010): Construction of Water Supply Pipe Network Based on GIS and EPANET Model in Fangcun District of Guangzhou. In *2010 Second IITA International Conference on Geoscience and Remote Sensing, Qingdao, China, 2010*. Piscataway, NJ: IEEE, 268–271. Online: <https://doi.org/10.1109/IITA-GRS.2010.5604123>

A közúti közlekedés és a balesetek környezeti hatásai

A mobilitásra való igény modern életünk része, a közlekedési eszközök fejlődésével, azok széles körű elérhetőségével felgyorsult és telítettebbé vált a forgalom Magyarországon is. Ennek eredményeként a közúton közlekedő járművek száma folyamatosan nő, aminek következtében az úthálózat igénybevétele és a környezet terhelése fokozódik. A megnövekedett forgalomban a közúti balesetek előfordulása is gyakoribb, amelyek következtében különböző üzem- és segédanyagok, folyadékok – tűz esetén égéstermékek – kerülhetnek a sérült járművekből a környezetbe. Adott esetben a kárfelszámolási folyamat is terheli a környezetet. Célunk azonosítani a közúti közlekedés és a bekövetkező balesetek lehetséges környezetszennyezőit és vizsgálni azok környezeti elemekre gyakorolt hatásait. Kutatómunkánkkal fel kívánjuk hívni a figyelmet a téma fontosságára, eredményeinkkel a környezetterhelés csökkentését kívánjuk elősegíteni.

Kulcsszavak: közúti baleset, környezeti elemek, környezeti károk, szennyezés, kárfelszámolás

ENVIRONMENTAL EFFECTS OF ROAD TRAFFIC AND ACCIDENTS

The demand for mobility is a significant part of our modern life, with the development of means of transport and their widespread availability, traffic has become faster and more saturated in Hungary as well. As a result, the number of vehicles in use is constantly increasing, as a result of which the use of the road network increases. With increased traffic, the occurrence of road accidents is also more frequent, as a result of which various auxiliary materials and liquids – in the event of a fire, combustion products – can be released from damaged vehicles into the environment. In given cases, the damage elimination process also harms the environment. In this publication our goal is to identify possible environmental pollutants originated from road accidents and to investigate their impact on environmental elements. With the help of our research work, we wish to draw attention to the importance of this topic, and with these results, we wish to help reduce the environmental impact.

Keywords: road accident, environmental elements, environmental damage, pollution, damage elimination



16.1. ábra. Közúti baleset során a sérült járműből az úttestre, valamint az út melletti szántóföldre kifolyt hűtő-, kenőfolyadék (pirossal jelölve) és a szétszóródott rakomány

Forrás: a szerzők felvétele

Bevezetés

A modern, fejlődő gazdasággal rendelkező országokban a közlekedés az egyik legjelentősebb környezetszennyező tényező. Javarészt a nagyvárosokra és agglomerációira jellemző, hogy a közlekedés intenzitása miatt sokkal magasabb szennyezőértékeket mérnek a levegőben, a talajban és a vízben. 2023-ban Magyarországon a Központi Statisztikai Hivatal adatai szerint 4179 közúti közlekedési balesetet jegyeztek, amely személyi sérüléssel járt, ez nagyjából 11 eset naponta. Sajnos arról nincsen pontos adat, hogy ezek a balesetek milyen okokból kifolyólag történtek, illetve hogy keletkezett-e tűz. Azonban fontos azzal foglalkozni, akár személyi sérüléssel vagy anélkül járó közúti baleset történt, hogy mely környezeti károk származhatnak ezekből, ugyanis ütközéskor, a jármű borulásakor vagy annak műszaki meghibásodásakor kerülhetnek a környezetbe káros hatásokat okozó anyagok (16.1. ábra).

A balesetek számáról – egy korábbi írásra hivatkozva¹ – elmondható, hogy folyamatos növekvő tendenciát mutat, ami betudható annak, hogy a közlekedési infrastruktúra nem tud alkalmazkodni a közlekedésben részt vevő járművek számának növekedéséhez, a járművek műszaki állapota sem megfelelő, és életkoruk is egyre nő a gazdasági helyzet miatt, de megjegyzendő, hogy a közlekedésben részt vevők magatartásának is szerepe lehet a balesetek bekövetkezésében. A felsorolt okokból kifolyólag történhet közlekedési baleset, amely során, ha tűz keletkezik a

¹ PAPP–KERSÁK 2023.

helyszínen, akkor a levegőszennyezés egyáltalán nem elhanyagolható a műanyag alkatrészek elégséével,² illetve az alternatív meghajtású járművek akkumulátor- és kábeltűzei még veszélyesebben is hathatnak a természeti környezetre és a humán egészségre. A szennyeződések környezetbe való jutása több úton mehet végbe, például a levegőbe kerülő égéstermékeken és aeroszolon keresztül, de akár magáról az útburkolatról is a talajba, vizekbe folyhat a szennyeződés.³ Tehergépjárművek balesetei esetén a rakomány szintén lehet környezetkárosító hatású. Jelen írás célja összegezni a főbb környezeti elemek (úgy mint talaj, víz és levegő) szennyezéseinek okait és a kárfelszámolás fajtáit, az abból eredő környezeti károkat.

Szennyező anyagok a levegőben

A közlekedés a járművek többségében alkalmazott belső égésű motor kipufogógáz-kibocsátása miatt súlyos légerterhelést jelent. A légszennyezettséget illetően a Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Kft. weboldalán megtalálhatók a Magyarországon kihelyezett mérőállomások adatai. Ezek a mérési pontok általában nagyobb városokban találhatók, ahol többféle szennyező anyagot, például szén-dioxidot (CO_2), nitrogén-oxidokat (NO_x), kén-dioxidot (SO_2), részecskeszennyezést (PM_{10} és $\text{PM}_{2,5}$) és egyéb veszélyes anyagokat figyelnek lokálisan.⁴ A méréseket általában óránként vagy napi rendszerességgel végzik gázelemző készülékkel. A levegőszennyezést nagy részben a benzin- és dízelmotorok által kibocsátott gázokra vezetik vissza. Ez főleg a közúti közlekedéshez kapcsolódik, ennél kisebb a vasúti, a légi és a vízi közlekedés károsanyag-kibocsátása. A kipufogógázban megtalálható legfontosabb káros anyagok: szén-monoxid, szén-dioxid, szénhidrogének, nitrogén-oxidok, ólomvegyületek, kén-dioxid és szilárd részecskék, korom és por. A korszerűtlen, kétütemű motorok okozzák a legnagyobb légszennyezést, mivel ezek olajkeverékkel üzemelnek. A mai modern motorokat igyekeznek úgy megtervezni, hogy katalizátorok és finomszűrők segítségével a káros anyagokat semlegesíteni tudják különböző kémiai folyamatok során. Nem szabad megfeledkezni azonban arról sem, hogy a közúton bekövetkezett balesetek is erős levegőterheléssel járnak. A legnagyobb mértékű légszennyezést az ütközés során bekövetkező tűz okozhatja. A járműtűzek több mint fele a motortérből indul ki,⁵

² PAPP 2024.

³ FÖLDI–HALÁSZ 2009.

⁴ Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat [é. n.].

⁵ PAPP 2023.

ahol számos éghető anyag megtalálható. A motortéri tűz égést tápláló anyagai javarészt a különböző burkolóelemek, műanyagok, hang- és hőszigetelő anyagok. A műanyagok égése során a következő anyagok szabadulhatnak fel: benzol, toluol, xilolok, izopropanol, acetátok. Az előbbieket összefoglaló neve a BTEX-vegyület.⁶ A BTEX olyan kémiai vegyületek összessége, amelyek a festékektől a járművek kipufogógázán át az ipari kibocsátásból is származhatnak, egyébiránt a tipikus városi környezet levegőjében is előfordulnak. A gáz- és olajfinomító és petrokémiai üzemek, de még a benzinkutak közvetlen környezetében is magas a kitétség. A műanyag palackok és a poliészter gyártásához is használnak valamennyit, az ember BTEX-nek való kitétsége súlyos betegségek kialakulását okozza, mint a vérszegénység és a leukémia. Ezért is fontos a folyamatos légtervizsgálat, az expozíciós értékek betartása. Meg kell említeni a baleset bekövetkeztekor előforduló üzemanyag-szivárgást is, mint lehetséges szennyező forrást. Különösen, ha benzinmotorról van szó, a benzin fizikai és kémiai tulajdonságai miatt magasabb a tűz keletkezésének kockázata is, mint a gázolajjal üzemelő motorok esetén. Illékonyága és alacsony lobbanáspontja miatt a benzin könnyedén párolog, és alkot a levegővel gyúlékony elegyet. Így a normál üzemből kifolyólag környezetbe bocsátott káros anyagok nagy mennyiségben, utókezelés nélkül képesek a levegőbe jutni rövid időn belül. A tökéletlen égés miatt policiklusos aromás szénhidrogének, úgynevezett PAH-vegyületek is szennyezik a levegőt. Ezek mutagén és rákkeltő hatásúak, és hosszú távon a környezetben is felhalmozódhatnak, így az élő szervezetekre hatással vannak. Ugyancsak nem elhanyagolható az égő motorolaj levegőszennyező hatása. A talajszennyezések fejezetben az olajokról bővebben szólnunk. A motorolaj égésével hasonló vegyületek képződnek, mint a benzin és a műanyag esetén. Kiegészítésként azonban foglalkozni kell a fém-oxidokkal, amelyek a teljesítménynövelő adalékok fémtartalmából (úgy mint molibdén, cink vagy foszfor) keletkeznek. Égésük során azokat belélegezve szemcsenagyságuk miatt súlyosan károsíthatják a tüdőt és egyéb szerveket. Belátható, hogy a baleset helyszínén levegőbe jutó szennyezés már rövid távon is kifejtetheti negatív hatását az égés során. Az alternatív hajtást vizsgálva az akkumulátortűzűzek hatásaival is foglalkozni kell. Kísérletekkel igazolták, hogy az akkumulátorelektrolitok égésekor hidrogén-cianid, szén-monoxid, klór és formaldehid szabadulhat fel, a műanyag burkolat égésekor felszabaduló szokásos vegyületek mellett.⁷ A hidrogén-cianid gőze erősen mérgező, a gázkamrákban is ezt alkalmazták. Egyébként biomasszaégés

⁶ SZABÓ 2011.

⁷ BENKE et al. 2023.

melléktermékeként (például erdő- és bozóttüzek) a nitrogéntartalmú komponensek pirolízisével is keletkezik.⁸ Vízben jól oldódik, így kerülhet akár a levegőből nedves kimosódás révén a talajba, talajvizekbe is. A formaldehid mérgező és rákkeltő hatású. Erdőtüzekkor, kipufogógázban, cigarettafüstben egyaránt előfordul. A szmog egyik összetevője.⁹

A víz és a talaj szennyeződése

Magyarország vízkészlete igen gazdag, ezek a vizek különböző forrásokból és környezetekből származhatnak. A hazai vízkészlet-gazdálkodási gyakorlatban a vízkészletet két fő egységre bontjuk: felszíni és felszín alatti vizekre. A felszíni vizekhez soroljuk az állóvizeket (természetes tavak, holtágak, vízállásos területek, mesterséges tavak, tározók, bányatavak), a vízfolyásokat (folyamok, folyók, kisvízfolyások, időszakos vízfolyások) és a csatornákat (belvíz-, csapadékvíz-, szennyvíz-, öntözővíz-csatornák). A felszín alatti vizek jellemzően kutakból kerülnek elő, és általában alacsonyabb szennyezettségi szinttel rendelkeznek, mint a felszíni vizek. Ezeket a vizeket gyakran csak minimális tisztítási folyamatoknak kell alávetni, mielőtt emberi fogyasztásra alkalmassá válnak. Emellett vannak olyan területek is Magyarországon, ahol a felszíni vizeket is használják ivóvízként. Ezek a vizek általában tisztítási eljárások után már megfelelnek az ivóvízminőségi előírásoknak. A fentiekből látszik, hogy a vízszennyezettség összefügghet akár az ivóvíz tisztaságával is. A különböző forrásból származó vizeket is vizsgálatok alá vetik, fontos például a víz pH-jának mérése, azaz savas vagy lúgos jellege, az oldott oxigén szintjének meghatározása, a víz hőmérsékletének és színezettségének ellenőrzése, valamint a különböző vegyi anyagok (például nehézfémek, műanyagok, peszticidek stb.) koncentrációjának mérése is. Ez alapján is belátható, hogy a levegő és a víz szennyezettsége szorosan összekapcsolódik egymással és a talaj szennyezettségével is. Sokszor ugyanabból a forrásból fakadnak az okok, ugyanazokat a területeket érintik, és számos esetben a kibocsátott szennyezők a levegőben és a vízben megegyeznek.¹⁰

A talaj károsodásai közé tartozhat a talaj termékenységének csökkenése, a vízforrások szennyeződése és az élőlények, beleértve a növények és az állatok egészségére gyakorolt negatív hatások. A normál forgalomban a járművek kopása

⁸ BUZÁS-TÓTH 2020.

⁹ KUTI-ZÓLYOMI 2018.

¹⁰ MCCABE-POND-HELMERS 1952.

(motor, gumiabroncsok, fékek), az olaj- és hűtőfolyadék-szivárgás, valamint a korrózió az a folyamat, amely során a járművek szennyező anyagokat juttatnak a környezetbe. Az olyan anyagok, mint a vas, az alumínium, a kadmium, a réz, a cink, az ólom és a króm, a gumiabroncs porából, a hűtőberendezések, fékek korróziójából és a csapágyak elhasználódása útján jutnak a környezetbe. Ezek az úgynevezett nehézfémek okozta környezeti hatások jelentősek. A nehézfémek toxicitása károsíthatja a növényeket és az állatokat a talajon keresztül, továbbá a talajvízbe is bejuthatnak. Innen már könnyen belátható, hogy az élelmiszerláncba is könnyedén bekerülhetnek, akár a közutak melletti mezőgazdasági területek szennyeződése révén. Ez már közvetve a humán egészségre is ártalmas problémákat okozhat, a mérgezéstől kezdve a komolyabb krónikus megbetegedésekig.

Ha a közúton baleset történik, az ütközés során ért fizikai behatások tönkreteszhetik a jármű hatásrendszerét, egyéb berendezéseit és a hajtó-, kenőfolyadékok az útburkolatról lefolyva bejutnak a talajba. Az olaj, a hidraulikafolyadék és a hűtőfolyadék talajba kerülése súlyos szennyezést okozhat. Ezek az anyagok károsíthatják a talaj szerkezetét és a talaj mikroorganizmusait. Az olajszennyeződések a következőképpen érinthetik a talajt: beszivárgás útján az olaj részecskéi a talajszemcsékhez tapadva megnehezítik a talaj légzését és a víz szabad mozgását. A motorolajokat tekintve megkülönböztetünk ásványi, szintetikus és félszintetikus olajokat, tulajdonságaik feljavításához adalékokat alkalmaznak.¹¹ Ezek a kémiai vegyületek módosítják a talaj kémiai összetételét, ami által felborulhat a talaj kémiai egyensúlya.¹² A talajban élő hasznos baktériumok és gombák is fontosak a szerves anyagok lebontásában, a talaj egészséges állapotának fenntartásában. Az olajszennyezés miatt csökkenhet a talaj biológiai aktivitása. Hosszú távon ez szintén a növényekre, az azokból származó takarmányokat fogyasztó állatokra nézve jelenthet veszélyt. A fent említett okok miatt a gyökerek légzése és normális vízfelvétele is csökkenhet. Ezzel a talaj termékenysége romlik. A súlyos olajszennyezések akár évekig is fennmaradhatnak, hacsak nem előzik meg a hosszú távú negatív hatást valamilyen kárfelszámolással. A kiszivárgó tüzelőanyagok is hasonlóan fejtik ki hatásukat a baleset helyszínén. A tüzelőanyagok környezetbe jutásának egyik legjelentősebb veszélye, hogy a talajszennyezés miatt bekövetkezhet vízszennyezés is, mivel a szennyeződés a forrástól távolabbra is eljuthat, és kiterjedt szennyeződést okozhat. Különösen homokos vagy kavicsos talajok tekintetében magas a kockázat, ahol a szennyeződés könnyen átszivároghat

¹¹ KUTI–FÖLDI–BEKE 2019.

¹² STANKOVIĆ–KRSTIĆ–NIKOLIĆ 2008.

az áteresztőképesség miatt.¹³ A talajvíz szennyezése súlyos közegészségügyi problémákhoz vezethet, mivel a vízforrások ivóvízként is szolgálhatnak.¹⁴ Itt is megemlíthetők a BTEX-vegyületek, amelyek veszélyeit már korábban bemutattuk. A környezetszennyező anyagok terjedését ezenkívül számos tényező befolyásolja.¹⁵ Ezek közé tartoznak az éghajlat és a környezeti elemek sajátosságai, valamint a kikerült anyagok fizikai és kémiai tulajdonságai, továbbá azok kölcsönhatásai egymással. A talajból átszivárgó idegen anyagok a felszíni és a felszín alatti vizekre egyaránt negatív hatással vannak. A forgalmas úthálózattal rendelkező beépített területek, mezőgazdasági területek környezetében fokozottan veszélyes a szennyeződés. A balesetekből kiinduló veszélyhelyzetek a vízforrásokat – azaz az ivóvízkészlet minőségét – ronthatják.¹⁶

A tűzoltó anyagok környezeti hatásai

Beszélni kell a közúti járművek balesetkor keletkező tűz eloltására használt anyagokról is. Zólyomi írásában¹⁷ rendkívül jól összegzi az alkalmazott oltóanyagokat és azok környezeti hatásait. A legkézenfekvőbb oltóanyag a víz, hiszen alkalmazása relatív olcsó, semleges a kémhatása és nem mérgező. Könnyen szállítható, oltáskor nagy hőelvonó képesség jellemzi és szinte bárhol elérhető. Előfordulhatnak olyan esetek, amikor a víz egyáltalán nem alkalmas a tűz eloltására, alkáli- vagy könnyűfémek tüzeinek oltására, karbid tárolásánál, olvadt fémek esetén és elektromos berendezések oltására sem, amennyiben azok feszültség alatt állnak. Ez a probléma az elektromos és hibrid járművek 480–1000V feszültséggel üzemelő elektromos hajtásrendszerénél gyakran fennállhat. Az oltás megkezdéséhez áramtalanítani kell a járműveket a magasfeszültségű kábelrendszerbe beépített hurok elvágásával, illetve az akkumulátortüzetket a legtöbb esetben csak merítőkádban lehetséges megszüntetni. Akadnak olyan esetek is, amikor a víz feltételeesen használható oltóanyagként, például ha olajemulzió képezhető, vagy nehezebb a folyadék fajsúlya, vagy hígítható az éghető folyadék. Amennyiben a fent leírtaknak megfelelően járnak el, a tűz vízzel való oltása a környezetre ártalmatlan, ezt törvényileg is szabályozzák. Sok esetben különféle oltóhabokat

¹³ VAN BOHEMEN – JANSSEN VAN DE LAAK 2003.

¹⁴ KROCOVÁ 2013.

¹⁵ KÁTAI-URBÁN–RÉVAI 2015.

¹⁶ PADÁNYI 2022.

¹⁷ ZÓLYOMI 2008.

alkalmaznak tűztoltásra. Ezeket a habokat mechanikus és vegyi habokra bonthatjuk. A köztük lévő különbséget úgy érthetjük meg, ha először definiáljuk az oltóhab jelentését. A hab gőzökkel és gázokkal töltött buborékból álló rendszer, a buborékok közt pedig folyadékhártya helyezkedik el. A mechanikai hab előállításához habképző anyag – víz és levegő – szükséges. Ezzel szemben a vegyi hab vegyi úton jön létre, ugyanis a buborékok nem levegőből, hanem vízből és a habképző anyag oldatából kilépő szén-dioxid-gázból képződnek. Kiváló oltóhatással rendelkeznek, így széles körben alkalmazhatók. Azonban a habképző anyagok adalékként szulfittlúgot, zsírsavfrakciót és konzerváló szert, továbbá alumíniumsót és nehézfémeket is tartalmaznak. A nehézfémek környezetre és az élő szervezetekre kifejtett rendkívül káros hatásáról már korábban is szóltunk, az alumíniumsó pedig rákkeltő hatású. A szulfittlúgot részben vesz a savas eső kialakulásában, ezzel károsítva a növényeket, az állatokat, valamint a vízi és szárazföldi ökoszisztémákat. Ritkábban tűztoltó gázokat is használnak tűztoltásra. Alkalmazásuk elsősorban zárt térben előnyös, de előfordulhatnak helyzetek, amikor ez bizonyul a legjobb megoldásnak (például látást zavaró oltóanyag kiváltására, másodlagos károk megelőzésére vagy szűk, zárt térben működtetett elektromos berendezések oltására). Az oltógáz hatékonyságát az biztosítja, hogy az égéstérből az égést tápláló oxigént kiszorítja, ez kémiai és fizikai úton történhet. Így beszélhetünk kémiai úton oltó és inert gázokról. A kémiai úton oltó gázok (halogén vegyületek) az ózonréteget károsítják, nagyon lassan bomlanak le. A szén-dioxid fokozza az üvegházhatást. Összességében elmondható, hogy az inert gázoknak általában kisebb környezetkárosító hatásai vannak.

Az oltást végezhetik oltóporokkal is. A tűz típusára vonatkozóan megkülönböztetünk A, B, C, D, E tűzosztályt. A tűz típusától, azaz a tűzosztályától függ az oltóporok hatóanyaga. Az A típusú tűz oltásánál alkalmazott oltóporok ammónium-foszfát, ammónium-szulfát a hatóanyaga, a B és C osztálynál alkalmazott oltóporok nátrium-hidrogén-karbonát vagy kálium-hidrogén-karbonát. A D típusnál alkálifém-klorid-, ammónium-klorid-tartalmú lehet az oltópor. Ezeket az oltóporokat széles körben lehet használni, mert kompakt méretű oltóberendezésben érhető el. Azonban az eloltott tűz helyén visszamaradó tűztoltópor a talajt vagy az élővizeket szennyezheti. A szulfátok és a foszfátok vízterhelő hatásúak. A nátrium-hidrogén-karbonát, ismertebb nevén szóda-bikarbóna, illetve a kálium-hidrogén-karbonát környezetbarát anyagnak minősül. Ezen anyagok semleges pH-juknak köszönhetően általában nem befolyásolják jelentősen a talaj savasságát vagy alkalinitását, ami fontos a növények és a talaj mikrobiális életének szempontjából.

A tűzoltó anyagok környezeti hatásait befolyásolhatja a használt mennyiség, a helyes alkalmazási mód és az eltávolításuk során alkalmazott eljárások.¹⁸ Fontos a fenntartható és környezetbarát megközelítés a tűzoltás során, hogy minimalizáljuk a környezetre gyakorolt lehetséges negatív hatásokat. A környezet megóvása érdekében a megfelelő eszközök és taktika hatékony alkalmazása elsődleges feladat.¹⁹ Mivel a környezetvédelemre egyre nagyobb hangsúlyt fektetnek, a tudomány segítségével egyre több környezetet nem károsító módszer kifejlesztésén dolgoznak.

Kármentesítés

A közúti balesetek során nemcsak a környezeti elemekre gyakorolt negatív hatásokkal kell számolni, hanem az épített környezetben keletkezett károkkal is. A közlekedési infrastruktúrában keletkezett károk, mint például az útburkolat roncsolódása, a közúti műtárgyak sérülése, a közművek, azaz villany-, víz-, gázvezetékek károsodása, közvetve vagy közvetlenül negatívan hatnak a természeti környezetre is. Jelen összefoglalásból kiderül, hogy a közúton bekövetkezett balesetek utáni kárfelszámolás kulcsfontosságú a környezet megóvásának érdekében.

A szennyezők közül különösen a szénhidrogének és a nehézfémek környezetbe jutását kell megakadályozni, mivel azok talajba kerülése a talajvíz károsítását, a talaj életének mérgezését, ezáltal a fajok pusztulását okozza. A felsorolt ökológiai kockázatok mellett nem elhanyagolható a humán egészségügyi kockázat sem. A talajba jutott szennyező anyagok rákkeltő, mutagén és teratogén hatását már a kármentesítések helyszínén is kimutatták.²⁰ Az alkalmazható kármentesítési módszer több befolyásoló tényezőtől függ. Fontos a környezeti közeg típusa (úgy mint talaj, víz) és a szennyezést okozó anyag fizikai-kémiai-biológiai tulajdonságainak összessége. Az időtényező sem elhanyagolható, hiszen a szennyezés eltávolításának sürgőssége is fontos lehet. A kármentesítési eljárás során nem ritka, hogy több módszer együttes alkalmazása szükséges. A fő cél mindig a talaj vagy a felszín alatti víz eredeti vagy az eredetihez közeli állapotának helyreállítása.²¹ Ehhez a következő megoldások léteznek: a terület használatból való kivonása, a terület lokalizálása, amelyen a szennyezés bekövetkezett, majd teljes talajcsere.

¹⁸ KUTI 2015.

¹⁹ ZÓLYOMI 2008.

²⁰ Magyar Állami Környezetvédelem [é. n.].

²¹ HORVÁTH-KÁTAI-URBÁN 2016.

A szennyezés lokalizációjának lényege a lehatárolás, a mozgás megakadályozása.²² Helyszín szerinti *ex situ* vagy *in situ* technológiák léteznek. Az előbbinél a kármentesítés során a szennyezett anyagokat fizikailag eltávolítják a szennyezett területről, majd más helyszínre szállítják azokat, ahol hatékonyabb módon kezelhetők. Példák az *ex situ* kármentesítési módszerekre: talajeltávolítás, a szennyezett víz pumpálása és tisztítása külső rendszerekben, a szennyezett levegő elvezetése és kezelése. Az utóbbinál a szennyezett területen belül kezelik a szennyező anyagokat, anélkül, hogy azokat elmozdítanák vagy eltávolítanák. Az *in situ* módszer gyakran gazdaságosabb és környezetbarátabb, mivel minimalizálja a szállításból és a szennyezett anyagok kezeléséből adódó költségeket. Példák az *in situ* kármentesítési módszerekre: bioremediáció (tehát mikroorganizmusok használata a szennyező anyagok lebontásához a természetes környezetben), permeáció (ez a talajpórusokon keresztüli szennyezőanyag-elvezetést jelenti) és injektálás (kémiai anyagok juttatása a szennyezett területre).

Fontos a közlekedési infrastruktúra eredeti állapotának mihamarabbi visszaállítása is, hogy a közlekedők problémamentesen vehessenek részt a forgalomban. Ezzel elkerülhető a forgalmi dugók kialakulása, amikor a levegő terhelése lokálisan megnövekszik, vagy akár az újabb, úgynevezett „koccanásos” balesetek előfordulása. Így a környezeti károk minimalizálhatók.

Összegzés

A természeti környezet védelme és az emberek egészségének megőrzése kiemelten fontos mindennapi életünk során. Sajnos azonban a közlekedés, a közúton bekövetkező balesetek is szennyezik a környezetet. Manapság csak kevesen foglalkoznak azokkal az ártalmakkal, amelyek a balesetek résztvevőit és a környezetet terhelik. Kutatásunk során vizsgáltuk a közúti közlekedés és az esetleges balesetek környezeti hatásait. Megállapítható, hogy a humán egészségre azonnali negatív hatással leginkább a tüzesettel járó balesetek lehetnek, mert az éghető anyagok által kibocsátott füst elsődlegesen egy kisebb zárt térben, az autó utasterében fejt ki káros hatását. Az utastérből a környezetbe jutó füst felhígul. A levegőbe jutó szennyező anyagok lokálisan növelik a légszennyezést. Nem szabad megelégedezni a tűzoltó tevékenység okozta környezeti károkról sem. A tűz oltásához használt anyagok, illetve az ütközés hatására kiömlő hajtó- és kenőanyagok a

²² SZENDI 2022.

talajba kerülve szennyezik azt, és további károkat okozhatnak a vizekbe jutva. Ez végeláthatatlan folyamatot indíthat el a természeti környezet pusztításával, ha nem történik meg a megfelelő fajtájú és mértékű kármentesítés a helyszínen. A beavatkozások során az élőerő és a környezet megóvására egyre nagyobb figyelmet kell fordítani a jövőben, ezért a kárfelszámolás hatékonyságának növelése fontos feladat. A kárfelszámolási tevékenység akkor lehet igazán hatékony, ha az alkalmazott taktikát, a felhasznált tűzoltó és kármentesítő anyagokat az adott feladathoz a legoptimálisabban választották ki. A környezetkímélő tűzoltás és kármentesítés módszerei is adaptálhatók, ami által hatékonyabban végezhetők el ezek a feladatok, és a környezeti károkozás mértéke is csökkenthető.

Felhasznált irodalom

- BENKE, István – PAPP, Csenge – KERÉKES, Zsuzsanna – KUTI, Rajmund (2023): Investigation of Combustion Gases of Li-ion, Ni-Cd and Pbq Batteries. *Pollack Periodica*, 18(2), 101–106. Online: <https://doi.org/10.1556/606.2022.00638>
- BUZÁS Bettina – TÓTH Judit Zsuzsanna (2020): *Műanyag hulladékok égési tulajdonságainak vizsgálata*. TDK-dolgozat. Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Kar Energia- és Minőségügyi Intézet Tüzeléstan és Hőenergia Intézeti Tanszék. Online: http://www.combustioninstitute.hu/tdk_dij/2021/B%C3%BAz%C3%A1sBettina_%C3%A9s_T%C3%B3thJudit_TDK2020.pdf
- FÖLDI László – HALÁSZ László (2009): *Környezetbiztonság*. Budapest: CompLex.
- HORVÁTH Hermina – KÁTAI-URBÁN Lajos (2016): A vasúti áruszállítás környezetbiztonsági aspektusainak értékelése. II. rész. *Hadtudomány*, 26(E), 59–69. Online: <https://doi.org/10.17047/HADTUD.2016.26.E.59>
- KÁTAI-URBÁN, Lajos – RÉVAI, Róbert (2015): Possible Effects of Disasters Involving Dangerous Substances Harmful to the Environment, Human Life and Health. *Bolyai Szemle*, 22(2), 151–159. Online: <https://nke.repo.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/13716/Possible%20Effects%20of%20Disasters%20Involving%20Dangerous%20Substances%20Harmful%20to%20the%20Environment,%20Human%20Life%20and%20Health.pdf?sequence=1>
- KROČOVÁ, Šárka (2013): Contamination of Water with Noxious and Hazardous Substances. *Journal of the Polish Mineral Engineering Society*, 2013. július–december, 131–136. Online: http://potopk.com.pl/Full_text/2013_full/2013_2_24.pdf
- KUTI Rajmund (2015): *A víz tűzoltói felhasználhatóságának lehetőségei és korlátai*. Online: [www.vedelem.hu/letoltes/anyagok/536-a-viz-tuzoltoi-felhasznalhatosaganak-lehetosegei-korlatai.pdf](http://vedelem.hu/letoltes/anyagok/536-a-viz-tuzoltoi-felhasznalhatosaganak-lehetosegei-korlatai.pdf)
- KUTI Rajmund – FÖLDI Alexandra – BEKE Dóra (2019): Közúti balesetek során bekövetkező talajszennyezések és kárelhárítási eljárások vizsgálata. *Hadmérnök*, 14(3), 13–20. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2019.3.2>
- Magyar Állami Környezetvédelem [é. n.]: *A környezeti kármentesítésről*. Online: <https://kornyezt-vedelem.hu/kornyezteti-karmentesitesrol/>

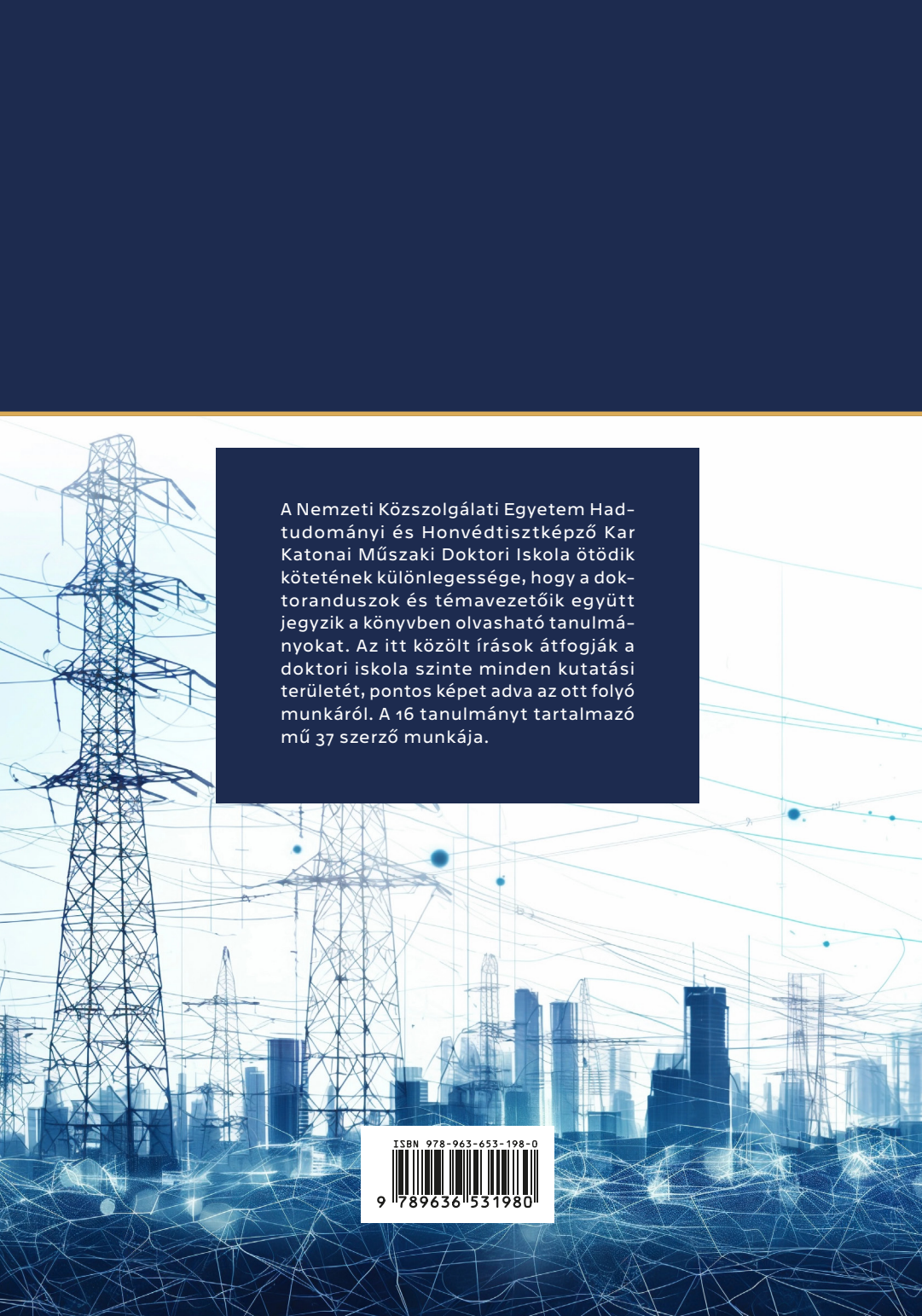
- MCCABE, Luis C. – POND, M. Allen – HELMERS, E. Neil (1952): Interrelationship of Air Pollution and Water Pollution. *Sewage and Industrial Wastes*, 24(1), 83–91. Online: www.jstor.org/stable/25031798
- Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat [é. n.]. Online: <https://legszenyezettseg.met.hu/>
- PADÁNYI József (2022): *Kihívások, kockázatok, válaszok. Az éghajlatváltozás okozta kihívások és azok hatása a katonai erőre*. Budapest: Ludovika.
- PAPP Csenge (2024): A személygépjármű-motorburkolat égése során felszabaduló gázok vizsgálata. In GÖCZE István – PADÁNYI József (szerk.): *Szemelvények a katonai műszaki tudományok eredményeiből IV. Hallgatói kötet*. Budapest: Ludovika, 111–125.
- PAPP Csenge – KERSÁK József (2023): Közúti járművekben keletkezett tüzek okai. *Hadmérnök*, 18(2), 109–121. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2023.2.7>
- STANKOVIĆ, D. – KRSTIĆ, B. – NIKOLIĆ, N. (2008): Effect of Traffic on the Soil Contamination with Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 22(2), 736–741. Online: <https://doi.org/10.1080/13102818.2008.10817543>
- SZABÓ István (2011): *Szénhidrogénnel szennyezett területek mikroba populációjának jellemzése*. PhD-értekezés. Gödöllő: Szent István Egyetem Környezettudományi Doktori Iskola. Online: https://archive2020.szie.hu/file/tti/archivum/Szabo_Istvan_tezis.pdf
- SZENDI Rebeka (2022): Környezeti károk felszámolása a veszélyes üzemeknél – Kármentesítési technológiák. *Hadmérnök*, 17(2), 159–170. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2022.2.11>
- VAN BOHEMEN, Hein D. – JANSSEN VAN DE LAAK, W. H. (2003): The Influence of Road Infrastructure and Traffic on Soil, Water, and Air Quality. *Environmental Management*, 31, 50–68. Online: <https://doi.org/10.1007/s00267-002-2802-8>
- ZÓLYOMI Géza (2008): Tűzoltási módok környezetvédelmi hatásai. *Hadmérnök*, 3(1), 70–87. Online: http://hadmernok.hu/archivum/2008/1/2008_1_zolyomi.pdf

A kötet szerzői

- ALMÁSI CSABA SÁNDOR doktorandusz, Nemzeti Közszerológati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Műszaki Doktori Iskola. Kapcsolat: almasi.csaba@uni-nke.hu; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3031-0515>
- BELLER BALÁZS doktorandusz, Nemzeti Közszerológati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Műszaki Doktori Iskola. Kapcsolat: beller.balazs@hm.gov.hu; ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6117-1026>
- BENCsik DÁNIEL doktorandusz, Nemzeti Közszerológati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Műszaki Doktori Iskola. Kapcsolat: bencsik.daniel@uni-nke.hu; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1131-0317>
- BENCsik GÁBOR doktorandusz, Nemzeti Közszerológati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Műszaki Doktori Iskola; gazdasági igazgató, HM Zrínyi Nkft. Kapcsolat: bencsikgab@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1394-6765>
- BEREK LAJOS professor emeritus, Óbudai Egyetem. Kapcsolat: berek.lajos@uni-nke.hu; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1705-1173>
- BEREK TAMÁS egyetemi tanár, tanszékvezető, tudományos dékánhelyettes, Nemzeti Közszerológati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar. Kapcsolat: berek.tamas@uni-nke.hu; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8358-6139>
- BERGER ÁDÁM doktorandusz, Nemzeti Közszerológati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Műszaki Doktori Iskola. Kapcsolat: berger.adam@uni-nke.hu; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8964-3536>
- CIMER ZSOLT dékán, egyetemi docens, Nemzeti Közszerológati Egyetem Víz-tudományi Kar. Kapcsolat: cimer.zsolt@uni-nke.hu; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6244-0077>
- CSANÁDI GYÖZŐ doktorjelölt, Nemzeti Közszerológati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola. Kapcsolat: csanadi.gyozo@uni-nke.hu; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9976-3654>
- CSATÓ PÉTER doktorandusz, Nemzeti Közszerológati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Műszaki Doktori Iskola. Kapcsolat: cspetur@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9515-5376>

- CSURGAI JÓZSEF egyetemi docens, Nemzeti Közzolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Műszaki Doktori Iskola. Kapcsolat: Csurgai.Jozsef@uni-nke.hu; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4770-7997>
- DUDÁS ZOLTÁN egyetemi docens, Nemzeti Közzolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar. Kapcsolat: dudas.zoltan@uni-nke.hu; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8682-884X>
- HEGEDŰS ERNŐ adjunktus, Nemzeti Közzolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar. Kapcsolat: hegedus.erno@uni-nke.hu; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8457-5044>
- JUHÁSZ OSZVALD VIKTOR doktorandusz, Nemzeti Közzolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Műszaki Doktori Iskola. Kapcsolat: juhasz.oszvald@mil.hu; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5595-1925>
- KAKUJA IZABELLA doktorandusz, Nemzeti Közzolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Műszaki Doktori Iskola. Kapcsolat: kakujai@nni.police.hu; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1324-033X>
- KARCHES TAMÁS egyetemi docens, Nemzeti Közzolgálati Egyetem Vízudományi Kar. Kapcsolat: karches.tamas@uni-nke.hu; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2347-3559>
- KÁTAI-URBÁN LAJOS egyetemi docens, tanszékvezető, Nemzeti Közzolgálati Egyetem Rendészettudományi Kar. Kapcsolat: katai.lajos@uni-nke.hu; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9035-2450>
- KAVAS LÁSZLÓ egyetemi docens, tanszékvezető, Nemzeti Közzolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar. Kapcsolat: kavas.laszlo@uni-nke.hu; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7375-3527>
- KRISZBACHER GERGŐ doktorandusz, Nemzeti Közzolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Műszaki Doktori Iskola. Kapcsolat: kriszbacher@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5600-308X>
- KUTI RAJMUND egyetemi tanár, Széchenyi István Egyetem Gépészmérnöki, Informatikai és Villamosmérnöki Kar. Kapcsolat: kuti.rajmund@sze.hu; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7715-0814>
- LUCZ ZSOLT doktorandusz, Nemzeti Közzolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Műszaki Doktori Iskola. Kapcsolat: lucz.zsolt96@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9801-8681>
- MÉSZÁROS ISTVÁN doktorandusz, Nemzeti Közzolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Műszaki Doktori Iskola. Kapcsolat: meszaros.istvan.mail@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1555-0705>

- MUNK SÁNDOR professor emeritus, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar. Kapcsolat: munk.sandor@uni-nke.hu; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8576-308X>
- ORGOVÁNYI PÉTER doktorandusz, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Műszaki Doktori Iskola. Kapcsolat: Orgovanyi.Peter@uni-nke.hu; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5349-2932>
- PAPP CSERGE doktorandusz, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Műszaki Doktori Iskola. Kapcsolat: papp-csenge1996@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4950-2461>
- RÉPÁS JÓZSEF doktorandusz, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Műszaki Doktori Iskola. Kapcsolat: repas.jozsef@uni-nke.hu; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1186-4731>
- SCHMIDT MIKLÓS doktorandusz, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Műszaki Doktori Iskola. Kapcsolat: schmidt.miklos@uni-nke.hu; ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7235-9864>
- TÓTH BENCE habilitált egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar. Kapcsolat: toth.bence@uni-nke.hu; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3958-187X>
- VAS TÍMEA egyetemi docens, tanszékvezető, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar. Kapcsolat: vas.timea@uni-nke.hu; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0082-0370>



A Nemzeti Közzolgálati Egyetem Had-
tudományi és Honvédtisztképző Kar
Katonai Műszaki Doktori Iskola ötödik
kötetének különlegessége, hogy a dok-
toranduszok és témavezetőik együtt
jegyzik a könyvben olvasható tanulmá-
nyokat. Az itt közölt írások átfogják a
doktori iskola szinte minden kutatási
területét, pontos képet adva az ott folyó
munkáról. A 16 tanulmányt tartalmazó
mű 37 szerző munkája.

ISBN 978-963-653-198-0



9 789636 531980