



V. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON DRILLING AND BLASTING TECHNOLOGY 2026

SYMPOSIUM PROCEEDINGS

HDF TRANSFORMATION COMMAND
HUNGARIAN SOCIETY FOR BLASTING TECHNOLOGY
HUNGARIAN ASSOCIATION OF MILITARY SCIENCE

29 October 2026
Szentendre
Hungary

SZIMPÓZIUM KIADVÁNY

MH TRANSZFORMÁCIÓS PARANCSNOKSÁG
MAGYAR ROBBANTÁSTECHNIKAI EGYESÜLET
MAGYAR HADTUDOMÁNYI TÁRSASÁG

2026. Október 29.
Szentendre
Magyarország

ISBN - 978 - 615 - 121 - 015 - 4
ISBN - 978 - 615 - 121 - 016 - 1

V. FÚRÁS - ROBBANTÁSTECHNIKA
NEMZETKÖZI SZIMPÓZIUM
2026



V. FÚRÁS- ROBBANTÁSTECHNIKA

V. FÚRÁS- ROBBANTÁSTECHNIKA

Nemzetközi Szimpózium Különkiadás

Szerkesztette:

Dr. habil Daruka Norbert PhD.

Dr. Ember István PhD.

Dr. Kovács Zoltán Tibor PhD.



ZRÍNYI KIADÓ

2026

MAGYAR HONVÉDSÉG TRANSZFORMÁCIÓS PARANCSNOKSÁG
HUNGARIAN DEFENCE FORCES TRANSFORMATION COMMAND
és/and

MAGYAR ROBBANTÁSTECHNIKAI EGYESÜLET
HUNGARIAN SOCIETY FOR BLASTING TECHNOLOGY

All rights reserved. Minden jog fenntartva.

A kiadványt vagy annak bármely részét az MH TP és a MARE engedélye nélkül bármilyen formában
vagy bármilyen eszközzel másolni, tárolni vagy közölni tilos!

You may not copy, store or transmit this publication or any part of it in any form or by any means without
the permission of Hungarian Society for Blasting Technology and HDF Transformation Command.

Kiadásban és terjesztésben közreműködik a HM Zrínyi Geoinformációs és Toborzó

Közhasznú Nonprofit Korlátolt Felelősségű Társaság – Zrínyi Kiadó

Felelős vezető: Oláh László ügyvezető

Zrínyi Kiadó igazgató: Almási-Rab László



A kiadvány címe:

V. FÚRÁS-ROBBANTÁSTECHNIKA
nemzetközi szimpózium
különkiadás
2026

Szerzők:

DARUKA Norbert – DÉNES Kálmán – EMBER István – GÁBOR Edina Mária –
KARDALUS Áron – KOVÁCS Márk Károly – KOVÁCS Zoltán Tibor – LAPAT Attila – LUKÁCS László –
NYIKES Zoltán – OLÁH Ádám Attila – POSTA Lajos László –
RÁZSÓ Sándor – STRAK Vince Gergely – SZALKAI István – TERÉK Tamás – TISZA Levente –
VÉGH Krisztián – VÉG Róbert László – VIRÁG Zoltán István – VOLARICS József

A szimpózium kétnyelvű (magyar–angol)

Lektorálta:	Prof. Em. Dr. Lukács László	Dr. Szatai Zsolt József
	Dr. Sztankai Krisztián	Dr. Kugyela Lóránd
	Dr. Kiss Álmos Péter	Dr. Gál József

Szakmai konzulens: Nemes József – Véghelyi Tibor

ISBN 978-615-121-015-4 (nyomtatott)

ISBN – 978-615-121-016-1 (online)

A kiadvány típusa: nyomtatott és elektronikus (PDF).

Szerkesztő:

Dr. habil Daruka Norbert PhD. – Dr. Ember István PhD. – Dr. Kovács Zoltán Tibor PhD.

Könyvszerkesztőség-vezető: Dávid Krisztina

Műszaki vezető: Gróf István

Nyomdai előkészítés: Drótos Szilvia

Nyomdai kivitelezés:

HM Zrínyi Geoinformációs és Toborzástámogató Közhasznú Nonprofit Korlátolt Felelősségű Társaság,

Nyomdai és Sokszorosító Igazgatóság

Felelős vezető: Pásztor Zoltán igazgató

KÖSZÖNTŐ

Tisztelt Hölgyeim és Uraim!
Tisztelt Szerzők, Előadók és Olvasók!

A biztonsági környezet napjainkban gyorsabban változik, mint a hidegháború lezárása óta bármikor. A hagyományos katonai fenyegetések mellett új technológiák, új hadviselési módszerek és új műveleti kihívások jelennek meg, amelyek folyamatos alkalmazkodást követelnek meg a fegyveres erőktől. A modern hadviselésben a technológiai fölény, az innovációs képesség és a tudományos megalapozottság már nem csupán versenyelőnyt jelent, hanem a sikeres katonai működés egyik alapfeltételévé vált.

A Magyar Honvédség fejlesztése ezért nem kizárólag új haditechnikai eszközök rendszeresítését jelenti. Ugyanolyan fontos a katonai gondolkodás folyamatos megújítása, a tudományos kutatás eredményeinek gyors beépítése, valamint a hazai és nemzetközi szakmai együttműködések erősítése. Csak olyan haderő lehet eredményes, amely képes tanulni, alkalmazkodni és a változó környezetre gyors válaszokat adni.

A V. Fúrás–Robbantástechnika Nemzetközi Szimpózium és a hozzá kapcsolódó tudományos kiadvány ezt a szemléletet testesíti meg. Olyan fórumot biztosít, ahol katonai és civil szakemberek, kutatók, oktatók, ipari szereplők és gyakorlati szakértők közösen gondolkodnak a robbantástechnika, a tűzszerész szakfeladatok, a robbanásvédelem és a kapcsolódó műszaki tudományterületek jövőjéről.

Különösen fontosnak tartom, hogy a kötetben foglalt tanulmányok a hagyományos robbantástechnikai kérdések mellett olyan korszerű témákat is feldolgoznak, mint a pilóta nélküli rendszerek katonai alkalmazása, az additív gyártástechnológia, a digitális hadszíntér, a terrorizmus elleni védekezés, valamint a robbanásvédelmi és műszaki biztonsági megoldások fejlesztése. Ezek a kutatási területek jól tükrözik azt az átalakulást, amely jelenleg a modern hadviselést jellemzi.

A Magyar Honvédség számára különösen értékes minden olyan tudományos eredmény, amely hozzájárulhat a műszaki támogatás, a tűzszerész képesség, a harctéri túlélőképesség, valamint a katonai innováció fejlesztéséhez. A tudomány és a gyakorlat közötti kapcsolat megerősítése ma már nem lehetőség, hanem stratégiai szükségszerűség.

Örömmel látom, hogy e szimpózium évről évre egyre szélesebb szakmai közösséget szólít meg és olyan együttműködési platformmá vált, amely méltó módon képviseli a magyar robbantástechnikai tudományt hazai és nemzetközi szinten egyaránt.

Köszönet illeti a Magyar Honvédség Transzformációs Parancsnokságot, a Magyar Robbantástechnikai Egyesületet, a Magyar Hadtudományi Társaságot, a szervezőket, a szerkesztőket, a lektorokat és minden szerzőt, akik munkájukkal hozzájárultak e magas színvonalú kiadvány létrejöttéhez.

Bízom benne, hogy a kötetben megjelent tanulmányok nemcsak a jelen szakmai munkáját segítik, hanem hosszú távon is hozzájárulnak a Magyar Honvédség képességfejlesztéséhez, a hazai hadtudomány gyarapításához és a robbantástechnikai szakterület további fejlődéséhez.

Dr. Kun Szabó István altábornagy
Honvéd Vezérkar főnökének helyettese

TARTALOMJEGYZÉK

KÖSZÖNTŐ.....	5
ELŐSZÓ.....	9
<i>Dr. habil Daruka Norbert – Dr. Dénes Kálmán – Dr. Ember István – Dr. Kovács Zoltán Tibor – Dr. Vég Róbert László</i> A DIGITÁLIS HADSZÍNTÉR ÖRÖKSÉGE – A ROBBANÓTESTEK DIGITÁLIS ADAPTÁCIÓJA ÉS ANNAK HATÁSA AZ OROSZ–UKRÁN HÁBORÚ UTÁNI TÜZSZERÉSZ MŰVELETEKRE.....	11
<i>Posta Lajos László – Strak Vince Gergely</i> IPARI MŰSZERGYÁR (IKLAD) TÜZÉRSÉGIGYÚJTÓ-GYÁRTÓ HADIIPARI VÁLLALAT TÖRTÉNETE.....	31
<i>Dr. Szalkai István – Rázsó Sándor</i> A PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰVEK ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI ROBBANÓTESTEK ÉS TELEPÍTETT AKNÁK MULTISPEKTRÁLIS TÁVÉRZÉKELESEN ALAPULÓ FELDERÍTÉSÉBEN ÉS GEOLOKÁCIÓS LEHATÁROLÁSÁBAN	55
<i>Tisza Levente – Dr. Virág Zoltán István</i> ROBBANTÁSOS KÖZETJÖVESZTÉS ALKALMAZHATÓSÁGA A HÁRMASKÚTI- VÍZNYELŐBARLANGBAN	66
<i>Dr. Terék Tamás</i> LÉTFONTOSSÁGÚ VESZÉLYES KATONAI OBJEKTUM VÉDELMI KÉPESSÉGEINEK FEJLESZTÉSE	81
<i>Dr. Kovács Márk Károly</i> AZ (IDEIGLENES) ÍR KÖZTÁRSASÁGI HADSEREG ROBBANTÁSOS MERÉNYLETEI ÉS TANULSÁGAI	91
<i>Dr. Oláh Ádám Attila</i> ROBBANÓANYAG-KERESŐ KUTYÁK SZAGLÁSI TELJESÍTMÉNYÉT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK ÉS AZOK VIZSGÁLATI LEHETŐ-SÉGE.....	101

Dr. Lapát Attila

SAJÁT KÉSZÍTÉSŰ ROBBANÓANYAGOK, ROBBANÓKÉPES ELEGYEK ÉS AZOK
PREKURZORAINAK VEGYÉSZ-SZAKÉRTŐI ÁTTEKINTÉSE, CSOPORTOSÍTÁSA 114

Végh Krisztián

A PÓKHÁLÓ-HADMŰVELETTŐL AZ MI-ALAPÚ ELŐREJELZÉSIG – A KRITIKUS
INFRASTRUKTÚRÁK DRÓNVÉDELMEK ÚJ SZEMLÉLETE..... 147

Szalkai László

AZ ADDITÍV ELJÁRÁSSAL NYOMTATOTT TÖLTETHÁZAK ELŐNYEI A RENDVÉDELMI
ROBBANTÁSTECHNIKAI ALKALMAZÁ-SOK SORÁN 159

Volarics József

A ROBBANTÁSSAL MŰKÖDŐ RADIOLÓGIAI DISZPERZIÓS ESZKÖZZEL ELKÖVETETT
TERRORCSELEKMÉNYEK KRIMINALISZ-TIKAI SAJÁTOSságAI 171

Gábor Edina

A TŰZSZERÉSZ (EOD) MUNKAKÖR SPECIFIKUS PSZICHOSZOCIÁLIS
KOCKÁZATAI ÉS A MENTÁLIS EGÉSZSÉGVÉDELMI STRATÉGIÁK ÁTFOGÓ
TUDOMÁNYOS ELEMZÉSE 201

István Ember (PhD)

THE CHALLENGES OF DECENTRALISED PRODUCTION OF CHARGE COMPONENTS
IN A WARTIME ENVIRONMENT 219

Zoltán Nyikes (PhD)

BLAST PROTECTION OF STRATEGIC AND CRITICAL INFRASTRUCTURE FACILITIES
BASED ON CYBER-OPERATIONAL CONTI-NUITY 227

Áron Kardalus

COMPARING BLAST DESIGNS USING A 3D FRAGMENTATION
ANALYSIS SOFTWARE 243

Prof. Em. Dr. Lukács László

RECENZIO – SZEMELVÉNYEK A MAGYAR ROBBANTÁSTECHNIKA
FEJLŐDÉSTÖRTÉNETÉBŐL 254

Prof. Em. Dr. Lukács László

RECENZIO – SZEMELVÉNYEK A HAZAI KATONAI ROBBANTÁSTECHNIKA
ÉS A FÖLDALATTI AKNAHARC FEJLŐDÉSTÖRTÉNETÉBŐL..... 256

Prof. Em. Dr. Lukács László

RECENZIO – ROBBANTÁSTECHNIKA A HAZAI KATONAI SZAKFOLYÓIRATOKBAN
AZ 1800-AS ÉVEK VÉGÉTŐL NAPJAINKIG..... 258

Dr. Kovács Zoltán Tibor

RECENZIO – MOZGÁSAKADÁLYOZÁS: ELVEK, MÓDSZEREK ÉS ESZKÖZÖK..... 260

ZÁRSZÓ 262

ELŐSZÓ

Tisztelt Olvasó!

A XXI. század hadviselése minden korábnál gyorsabban változik. Az új technológiák, a digitalizáció, a mesterséges intelligencia, az additív gyártás, a pilóta nélküli rendszerek és az adatvezérelt döntéshozatal alapjaiban formálják át a katonai műveletek végrehajtását. Ezzel párhuzamosan a robbantástechnika, a tűzszerészet és a katonai műszaki támogatás szerepe is folyamatosan új értelmezést nyer. A korszerű hadsereg számára ma már nem elegendő a meglévő képességek fenntartása, azok folyamatos fejlesztése, tudományos megalapozása és a nemzetközi tapasztalatok gyors adaptációja stratégiai jelentőségű feladattá vált.

A Magyar Honvédség Transzformációs Parancsnokságának egyik kiemelt küldetése, hogy elősegítse a jövő hadviselését meghatározó ismeretek feltárását, értékelését és a honvédség képességfejlesztési folyamataiba történő beépítését. E cél elérésében meghatározó szerepe van a tudományos kutatásnak, a szakmai párbeszédnek és azoknak a fórumoknak, ahol a katonai, rendvédelmi, ipari és felsőoktatási szereplők közösen keresik a válaszokat napjaink és a jövő kihívásaira.

Az V. Fűrés-Robbantástechnika Nemzetközi Szimpózium immár hagyományteremtő rendezvénné vált. Az elmúlt évek során olyan szakmai műhellyé fejlődött, amely egyszerre biztosít lehetőséget a legújabb kutatási eredmények bemutatására, a gyakorlati tapasztalatok megosztására, valamint új szakmai együttműködések kialakítására. Külön értéke, hogy a robbantástechnika különböző szakterületeit – a katonai alkalmazásoktól a bányászaton, az építőiparon és a robbantásbiztonságon át egészen a terrorizmus elleni védekezésig – egységes szemléletben mutatja be.

A jelen kötet jól tükrözi ezt a sokszínűséget. Tanulmányai nemcsak a robbantástechnika hagyományos kérdéseivel foglalkoznak, hanem olyan új kutatási irányokat is bemutatnak, mint a digitális hadszíntér, az additív gyártástechnológia katonai alkalmazása, a pilóta nélküli rendszerek fejlődése, a robbanóanyag-kereső kutyák alkalmazása vagy a robbantásvédelmi követelmények korszerű értelmezése. Mindezek azt bizonyítják, hogy a robbantástechnika ma már nem önálló szakterületként, hanem a modern hadviselés és a nemzeti biztonság komplex rendszerének szerves részeként értelmezhető.

Külön öröm számomra, hogy e kiadvány szerzői között egyaránt megtalálhatók a Magyar Honvédség, a rendvédelmi szervek, az egyetemek, a kutatóintézetek és az ipari szféra elismert szakemberei. Ez az együttműködés jól példázza, hogy a korszerű biztonsági kihívások csak közös gondolkodással, egymás tapasztalatainak hasznosításával és a tudomány eredményeinek gyakorlati alkalmazásával kezelhetők eredményesen.

Meggyőződésem, hogy a kötetben megjelent tanulmányok nemcsak a jelen szakmai kérdéseire adnak választ, hanem hozzájárulnak a Magyar Honvédség jövőbeni képességfejlesztéséhez, a hazai robbantástechnikai tudomány fejlődéséhez és a nemzetközi szakmai együttműködések további erősítéséhez is.

Schleisz Ferenc Tamás ezredes
MH Transzformációs Parancsnokság
megbízott parancsnok

A DIGITÁLIS HADSZÍNTÉR ÖRÖKSÉGE – A ROBBANÓTESTEK DIGITÁLIS ADAPTÁCIÓJA ÉS ANNAK HATÁSA AZ OROSZ–UKRÁN HÁBORÚ UTÁNI TŰZSZERÉSZ MŰVELETEKRE

THE LEGACY OF THE DIGITAL BATTLEFIELD – THE DIGITAL ADAPTATION OF EXPLOSIVE ORDNANCE AND ITS IMPACT ON POST-WAR EXPLOSIVE ORDNANCE DISPOSAL OPERATIONS IN THE RUSSO-UKRAINIAN WAR

Dr. habil DARUKA Norbert¹ – Dr. DÉNES Kálmán² – Dr. EMBER István³ –
Dr. KOVÁCS Zoltán Tibor⁴ – Dr. VÉG Róbert László⁵

ÖSSZEGZÉS

Az orosz–ukrán háború rámutatott arra, hogy a digitális tervezés és az additív gyártástechnológia alapvetően átalakította a hagyományos robbanótestek katonai alkalmazását. A háromdimenziós nyomtatással előállított szerkezeti elemek lehetővé tették a korábban rendszeresített robbanótestek gyors, decentralizált és költséghatékony adaptációját új harcászati feladatokra, különösen a pilóta nélküli rendszerek alkalmazásában. A tanulmány bemutatja az additív gyártással módosított robbanótestek főbb típusait, elemzi a digitális innováció szerepét a hadszíntéri alkalmazkodásban, valamint értékeli e folyamatok hosszú távú következményeit. Rámutat arra, hogy a háborút követő robbanótest-mentesítés egyik legnagyobb kihívását már nem csupán a visszamaradt robbanótestek mennyisége, hanem azok szerkezeti és funkcionális sokfélesége jelentheti. A kutatás kitér a Magyar Honvédség tűzszerész képességeinek fejlesztési szempontjaira, a rendvédelmi szervek előtt álló új feladatokra, valamint a civil robbanótest-mentesítési műveletek várható sajátosságaira is. A tanulmány megállapítja, hogy a digitális gyártástechnológiák katonai alkalmazása a jövőben meghatározó tényezővé válik a robbanóeszközök felismerése, elemzése és biztonságos hatástalanítása terén, ezért a digitális műszaki ismeretek és a rendszerszemléletű megközelítés a tűzszerész szakterület meghatározó kompetenciáivá válnak.

Kulcsszavak: additív gyártástechnológia, robbanótest-adaptáció, pilóta nélküli rendszerek, robbanótest-mentesítés, digitális hadviselés.

¹ MH Transzformációs Parancsnokság, Tudományos Kutatóhely osztályvezető; Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Robbantástechnikai szakmérnök/szakember szakirányú továbbképzés, képzésvezető, a katonai műszaki tudományok habilitált PhD-fokozatos. E-mail: daruka.norbert@mil.hu; daruka.norbert@bgk.uni-obuda.hu; ORCID: 0000-0002-7102-1787.

² Építőmérnök, a katonai műszaki tudományok PhD-fokozatos. E-mail: denes.kalman.1975@gmail.com; ORCID: 0000-0002-2951-7172.

³ Adjunktus, Nemzeti Közszerológiai Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Harctámogató Tanszék, a hadtudomány PhD-fokozatos. E-mail: ember.istvan@uni-nke.hu; ORCID: 0000-0002-9877-0366.

⁴ Egyetemi docens, Nemzeti Közszerológiai Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Harctámogató Tanszék, a hadtudomány PhD-fokozatos. E-mail: kovacs.zoltan@uni-nke.hu; ORCID: 0000-0001-9098-1997.

⁵ Egyetemi docens, NKE HHK Haditechnikai tanszék, a katonai műszaki tudományok PhD-fokozatos. E-mail: veg.robert@uni-nke.hu; ORCID: 0000-0002-9786-6702.

ABSTRACT

The Russia–Ukraine war has highlighted how digital design and additive manufacturing technology have fundamentally transformed the military use of conventional explosive devices. Structural components produced using 3D printing have enabled the rapid, decentralized, and cost-effective adaptation of previously standardized explosive devices to new tactical tasks, particularly in the use of unmanned systems. The study presents the main types of explosive devices modified through additive manufacturing, analyses the role of digital innovation in battlefield adaptation, and assesses the long-term implications of these processes. It highlights that one of the greatest challenges of post-war explosive ordnance disposal is no longer merely the quantity of leftover explosive ordnance, but rather its structural and functional diversity. The research also addresses aspects of developing the explosive ordnance disposal capabilities of the Hungarian Defence Forces, the new tasks facing law enforcement agencies, and the anticipated characteristics of civilian explosive ordnance disposal operations. The study concludes that the military application of digital manufacturing technologies will become a decisive factor in the future in the detection, analysis, and safe neutralization of explosive devices; therefore, digital technical knowledge and a systems-oriented approach will become key competencies in the field of explosive ordnance disposal.

Keywords: additive manufacturing technology, explosive device adaptation, unmanned systems, explosive ordnance disposal, digital warfare.

BEVEZETÉS

Az orosz–ukrán háború az elmúlt évtizedek egyik legjelentősebb fegyveres konfliktusává vált, amely számos olyan haditechnikai és hadműveleti tapasztalattal szolgál, amelyek várhatóan hosszú időre meghatározzák a modern hadviselés fejlődését. A harctéren alkalmazott technológiák rendkívül gyors ütemű változása, a pilóta nélküli rendszerek tömeges elterjedése, a digitális gyártástechnológiák katonai alkalmazása, valamint a kereskedelmi célú eszközök harctéri adaptációja egyaránt azt mutatja, hogy a hadviselés fejlődése ma már nem kizárólag a hagyományos hadiipari fejlesztések eredménye. [1][2] A technológiai innováció egyre nagyobb része decentralizált környezetben, gyakran kis műhelyekben, önkéntes fejlesztői közösségekben vagy akár közvetlenül a frontvonal közelében – esetenként szállítható konténerekben – valósul meg. [3]

A konfliktus egyik kevésbé vizsgált, ugyanakkor hosszú távon meghatározó következménye, hogy a háború során korábban rendszeresített, sok esetben évtizedek óta raktárkészletben tárolt robbanótestek [4] jelentős része új alkalmazási módot kapott. A lőszer- és robbanóanyag-hiány, a gyors alkalmazkodási kényszer, valamint a kereskedelmi drónok tömeges megjelenése olyan innovációs folyamatokat indított el, amelyek során a hagyományos robbanótestekhez additív gyártástechnológiával előállított szerkezeti elemek, függesztőberendezések, stabilizátorok, gyújtószerkezetek és egyéb funkcionális kiegészítők készültek. Ennek eredményeként olyan új robbanóeszköz-konfigurációk alakultak ki, amelyek ugyan hagyományos katonai robbanótestekre épültek, azonban az additív gyártással előállított szerkezeti elemek révén új funkcionális képességekkel és alkalmazási sajátosságokkal rendelkeztek, így jelentősen eltértek eredeti katonai rendeltetésüktől.

Az additív gyártástechnológia katonai alkalmazása ebben az esetben nem önálló fegyverrendszerek létrehozását szolgálta, hanem lehetővé tette a meglévő robbanótestek gyors és alacsony költségű adaptációját új harcászati feladatokra. A digitális gyártás egyik legnagyobb előnye éppen az volt, hogy a fejlesztések rendkívül rövid idő alatt valósulhattak



1. ábra. 3D-nyomtatással készített kioldószerkezet egy quadrokopteren (АрміяInform) [5]



2. ábra. 3D-nyomtatott kioldószerkezet (IEEE Spectrum) [6]

meg, a tapasztalatok alapján folyamatosan módosíthatók voltak, majd a digitális tervfájlok segítségével gyakorlatilag korlátlan számban újragyárthatóvá váltak. A harctéri innováció ilyen sebességére korábban nem volt példa, amelynek következtében rövid idő alatt robbanótest-változatok százai jelentek meg a hadszíntéren.

Mindez azonban nem kizárólag a jelenlegi hadműveletek során jelent kihívást. A fegyveres konfliktus lezárását követően várhatóan Európa történetének egyik legnagyobb robbanótest-mentesítési feladatát kell majd végrehajtani. A hagyományos fel nem robbant lőszer, akna és egyéb robbanótestek mellett olyan nagyszámú, egyedi kialakítású vagy módosított szerkezetek is megjelennek majd, amelyek felismerése, azonosítása és biztonságos hatástalanítása lényegesen összetettebb feladatot jelenthet a tűzszerészállomány számára. A korábbi konfliktusoktól eltérően a robbanótestek jelentős részénél már nem elegendő a gyári kialakítás ismerete, mivel működésüket sok esetben utólag beépített, háromdimenziós nyomtatással előállított szerkezeti elemek módosítják.

A jelenlegi szakirodalom elsősorban a pilóta nélküli rendszerek harcászati alkalmazásával, a különböző robbanótestek műszaki jellemzőivel, illetve a háború hadművelleti tapasztalataival foglalkozik. Lényegesen kisebb hangsúlyt kap ugyanakkor annak vizsgálata, hogy ezek az innovációk milyen következményekkel járnak a háborút követő tűzszerész és robbanótest-mentesítési feladatokra. Különösen hiányos az additív gyártással módosított robbanótestekből eredő kockázatok, illetve az ezekből fakadó új műszaki és eljárásrendi kihívások elemzése.

Jelen tanulmánnyal azt kívánjuk bemutatni, hogy az orosz–ukrán háború során alkalmazott additív gyártástechnológia miként alakította át a hagyományos robbanótestek alkalmazását, milyen új eszközcsoportok jelentek meg a hadszíntéren, illetve ezek milyen hatással lehetnek a fegyveres konfliktust követő tűzszerész mentesítési feladatokra. A kutatás nem a háromdimenziós nyomtatás technológiai ismertetésére törekszik, hanem annak katonai következményeit vizsgálja a robbanótestek adaptációja és a mentesítési műveletek szemszögéből. Véleményünk szerint a háború egyik legmaradandóbb öröksége nem kizárólag a fel nem robbant lőszer meghatározhatatlan mennyisége lesz, hanem az a nagyszámú, egyedi kialakítású, additív gyártással módosított robbanóeszköz is, amelyek kezelése a jövő tűzszerészállományától új ismereteket, új módszereket és a korábbiaknál lényegesen magasabb szintű műszaki felkészültséget követel majd meg.

AZ OROSZ–UKRÁN HÁBORÚ ROBBANÓANYAG-FELHASZNÁLÁSÁNAK SAJÁTOSÁGAI

Az orosz–ukrán háború egyik legfontosabb sajátossága, hogy a konfliktus során a robbanótestek felhasználása olyan mértéket ért el, amelyre Európában a második világháború óta nem volt példa. A nagy intenzitású tűzérési összecsapások, a folyamatos légicsapások, a kiterjedt aknamezők telepítése, illetve nem utolsósorban a pilóta nélküli rendszerek tömeges alkalmazása következtében a robbanóanyag-felhasználás mértéke nagyságrendekkel meghaladta a legtöbb modern fegyveres konfliktus során tapasztalt értékeket. A hadszíntéren rövid idő alatt olyan mennyiségű lőszer került felhasználásra, amely jelentős nyomást gyakorolt mind a hadiipari termelésre, mind pedig a hadviselő felek stratégiai készleteire. A konfliktus kezdeti időszakában a rendelkezésre álló raktárkészletek biztosították a műveletek fenntarthatóságát, azonban a háború elhúzódásával egyre inkább előtérbe került a rendelkezésre álló erőforrások maximális kihasználásának igénye.

A hadműveletek első szakaszában a robbanótestek alkalmazása alapvetően még a gyártók által meghatározott rendeltetésnek megfelelően történt. A tűzérési lövedékeket tűzérési rendszerekből, az aknavetőgránátokat aknavetőkből, a kézigránátokat pedig elsősorban közvetlen harcérintkezés során alkalmazták. A konfliktus elhúzódásával azonban fokozatosan megváltozott ez a szemlélet. A veszteségek növekedése, az utánpótlási nehézségek, a különböző kaliberű lőszeres időszakos hiánya, illetve az új technológiák gyors megjelenése arra ösztönözte mindkét hadviselő felet, hogy a meglévő robbanótesteket eredeti rendeltetésüktől eltérő módon kezdjék alkalmazni.

Ebben a folyamatban meghatározó szerepet játszott a kereskedelmi célú pilóta nélküli légi járművek tömeges hadszíntéri elterjedése. A konfliktus első időszakában ezek az eszközök elsősorban felderítési feladatokat láttak el, [7] azonban rövid időn belül megjelent az igény arra, hogy különböző robbanótesteket is képesek legyenek célba juttatni. [4] A rendelkezésre álló katonai fegyverrendszerek jelentős része erre a feladatra nem volt alkalmas, ugyanakkor a kereskedelmi drónplatformok teherbírása lehetőséget biztosított kisebb tömegű robbanótestek hordozására. Ez a felismerés alapvetően új irányba terelte a harctéri fejlesztéseket.

A technológiai alkalmazkodást tovább gyorsította, hogy a hadszíntéren rendkívül nagy számban álltak rendelkezésre különböző típusú szovjet eredetű robbanótestek. Ezek jelentős része évtizedekkel korábban került rendszeresítésre, azonban műszaki állapotuk megfelelő tárolás mellett továbbra is lehetővé tette alkalmazásukat. A katonai vezetők és a fronton szolgáló állomány egyaránt felismerte, hogy ezen robbanótestek pusztító képessége megfelelő kiegészítő szerkezeti elemek alkalmazásával új harcászati feladatokra is hasznosítható. Ezáltal a hangsúly fokozatosan áthelyeződött az új robbanótestek fejlesztéséről a meglévő eszközök adaptációjára.

A konfliktus során kialakult innovációs folyamat egyik legfontosabb sajátossága az volt, hogy azt nem kizárólag a hadiipar irányította. A fejlesztések jelentős része kis műhelyekben, önkéntes fejlesztői közösségekben, egyetemi laboratóriumokban vagy akár közvetlenül a frontvonal közelében működő javító- és gyártóbázisokon valósult meg. A digitális tervezőszoftverek és az additív gyártástechnológia lehetővé tették, hogy egy új szerkezeti elem megtervezése, kipróbálása, módosítása és sorozatgyártása akár néhány nap alatt megtörténjen. A hagyományos hadiipari fejlesztési ciklusokkal szemben így egy rendkívül



3. ábra. 60 mm-es aknavető gránát FPV-löszerré alakítva (Ukrainian Armor) [8]

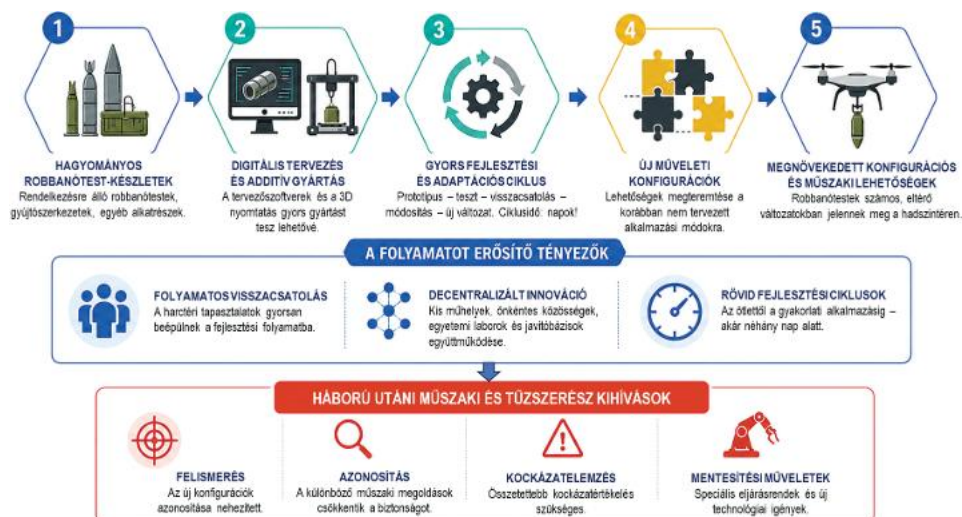


4. ábra. Műanyagpalack-alapú gyújtólőszer (PrintArmy) [9]

gyors, ismétlődő fejlesztési folyamat alakult ki, amely folyamatosan reagált a hadszíntéren szerzett tapasztalatokra.

A harctéri innováció ezen formája lényegesen túlmutatott egy-egy új alkatrész elkészítésén. Az additív gyártástechnológia alkalmazása fokozatosan lehetővé tette, hogy korábban önálló robbanótestként alkalmazott eszközök új fegyverrendszerek részévé váljanak. A háromdimenziós nyomtatással előállított stabilizátorok, függesztőelemek, adapterek, biztosító- és kioldószerkezetek olyan új képességeket biztosítottak a meglévő robbanótestek számára, amelyek eredeti tervezésük során nem szerepeltek. Ennek következtében ugyanazon robbanótest számos eltérő konfigurációban jelenhetett meg a hadszíntéren, jelentősen növelve alkalmazhatóságát és egyben a későbbi azonosítás nehézségét is.

Az orosz–ukrán háború robbanóanyag-felhasználásának egyik legfontosabb sajátossága nem kizárólag a felhasznált robbanótestek rendkívüli mennyisége volt, hanem azok funkcionális átalakulása is. A konfliktus során egyre inkább háttérbe szorult az a szemlélet, amely a robbanótesteket kizárólag eredeti rendeltetésük szerint kezelte, és előtérbe került a rendelkezésre álló készletek kreatív adaptációja.



5. ábra. A digitális hadszíntéri innováció folyamata az orosz–ukrán konfliktusban (szerkesztette Daruka N.)

Ez a folyamat nem csupán új harcászati lehetőségeket teremtett, hanem megalapozta azt a problémakört is, amely várhatóan a háborút követő robbanótest-mentesítés egyik legösszetettebb kihívásává válik majd.

AZ ADDITÍV GYÁRTÁSTECHNOLÓGIA SZEREPE A HAGYOMÁNYOS ROBBANÓTESTEK ADAPTÁCIÓJÁBAN

A modern hadviselés fejlődését hosszú időn keresztül elsősorban az új fegyverrendszerek fejlesztése határozta meg. Az orosz–ukrán háború ugyanakkor rámutatott arra, hogy a harctéri innováció nem kizárólag új eszközök létrehozásában jelenhet meg. Legalább ekkorra jelentősége van annak is, amikor egy meglévő haditechnikai eszköz új funkciót kap, vagy olyan képességekkel egészül ki, amelyek eredeti tervezése során fel sem merültek. Ebben a folyamatban az additív gyártástechnológia kulcsszerepet játszott, mivel lehetővé tette a robbanótestek gyors, alacsony költségű és decentralizált átalakítását.

A konfliktus során mindkét hadviselő fél jelentős mennyiségű, több évtizede rendszerezített robbanótesttel rendelkezett. Ezek között megtalálhatók voltak különböző kézigránátok, aknavetőgránátok, páncéltörő fegyverek harci részei, tüzérségi lövedékek, kumulatív töltetek és más robbanótestek. Katonai szempontból ezek az eszközök eredeti rendeltetésüknek megfelelően továbbra is alkalmazhatók voltak, ugyanakkor számos esetben már nem feleltek meg a hadszíntér gyorsan változó követelményeinek. [4] Ahelyett azonban, hogy kivonták volna őket az alkalmazásból, a harctéri innováció ezeket a készleteket új képességekkel ruházta fel.

Az additív gyártás alkalmazásának egyik legfontosabb előnye a rendkívüli rugalmasság volt. A digitális tervezés lehetővé tette, hogy egy adott robbanótesthez néhány óra alatt elkészüljön egy új szerkezeti elem, amelyet a helyi tapasztalatok alapján folyamatosan módosítani lehetett. A prototípusok elkészítéséhez nem volt szükség szerszámgyártásra, speciális öntőformákra vagy hosszadalmas ipari előkészítésre. A fejlesztési ciklus a hagyományos hadiipari folyamatokhoz képest nagyságrendekkel lerövidült, így a fronton szerzett tapasztalatok szinte azonnal visszacsatolhatók voltak a következő fejlesztési változatokba.

A digitális gyártás másik meghatározó sajátossága az volt, hogy a fejlesztés helye és a gyártás helye többé nem volt egymáshoz kötve. Egy adott szerkezeti elem digitális modellje néhány másodperc alatt továbbíthatóvá vált, majd a világ bármely pontján, megfelelő nyomtatóval rendelkező műhelyben előállítható volt. Ez a képesség jelentősen eltért a hagyományos hadiipari logikától, ahol a gyártókapacitás földrajzi elhelyezkedése alapvetően meghatározta az utánpótlási lánc működését. A 3D-nyomtatás ezzel gyakorlatilag digitalizálta a haditechnikai fejlesztés egy részét.

Azt is meg kell jegyezni, hogy a frontvonal mögött néhány kilométerrel megjelentek a mobil nyomtató konténerek, amelyek még gyorsabbá tették a fő- és kiegészítő alkatrészek percek-en-órákon belül történő rendelkezésre állását. [1][11]

A robbanótestek adaptációja során alkalmazott nyomtatott elemek rendkívül széles skálán mozogtak. Készültek különböző stabilizátorok a függőleges ejtés biztosítására, függesztőelemek kereskedelmi drónokhoz, adapterek eltérő méretű robbanótestek rögzítéséhez, biztosító- és kioldószerkezetek, valamint különböző védő- és pozicionálóelemek. Ezek



6. ábra. Mobil 3D-nyomtató-konténer
(MarineSystems) [10]



7. ábra. Mobil 3D-nyomtató-konténer
(képszerkesztővel létrehozott kép)

önmagukban nem rendelkeztek rombolóképességgel, ugyanakkor lehetővé tették, hogy a robbanótest teljesen új alkalmazási környezetben jelenjen meg. Az additív gyártás tehát nem a robbanóanyagot változtatta meg, hanem annak harcászati alkalmazhatóságát.

Az additív gyártástechnológia alkalmazása ugyanakkor nem korlátozódott kizárólag a robbanótestek hordozásához vagy stabilizálásához szükséges kiegészítő szerkezeti elemek előállítására. A háború későbbi szakaszában már a gyújtószerkezetek egyes alkatrészeinek gyártásában is megjelent. Erre jó példa az Ukrajnában 2025-ben bemutatott TM–2025 műszaki harcanyag, amely a TM–62 akna fémtestére épül, azonban az ahhoz kifejlesztett MPEM–1 gyújtó egyes szerkezeti elemeit már háromdimenziós nyomtatással állították elő. Ez jól mutatja, hogy az additív gyártás szerepe fokozatosan túlmutatott a külső kiegészítő elemek gyártásán, és megjelent a robbanótestek működését közvetlenül befolyásoló szerkezeti részegységek fejlesztésében is. [12]

A háború során különösen nagy jelentőséget kaptak a kereskedelmi drónokhoz fejlesztett kiegészítő szerkezetek. Ezek segítségével eredetileg kézi alkalmazásra vagy csőből történő indításra tervezett robbanótestek légi célba juttatására is lehetőség nyílt. A 3D-nyomtatással előállított stabilizátorok javították a becsapódási helyzetet, míg a különböző függesztő- és oldószerkezetek lehetővé tették a robbanótestek biztonságos szállítását és célterület feletti kioldását. Ezzel egy új alkalmazási mód alakult ki, amelyhez nem volt szükség új robbanótest fejlesztésére, elegendő volt annak funkcionális átalakítása.

Lényeges változás figyelhető meg a fejlesztési szemléletben is. A korábbi hadiipari innovációkat jellemző, hosszú kutatás-fejlesztési ciklusokat felváltotta a folyamatos, iteratív fejlesztés. Egy adott szerkezeti elem hatékonyságát közvetlenül a harctéren értékelték, majd a tapasztalatok alapján rövid időn belül elkészült annak módosított változata. Ez a folyamat a civil termékfejlesztésből ismert gyors prototípuskészítés katonai megfelelőjének tekinthető, amely a háború körülményei között kivételes sebességgel működött.

A konfliktus egyik legfontosabb következménye ugyanakkor nem kizárólag az új szerkezetek megjelenése volt, hanem az alkalmazott robbanótestek sokféleségének drasztikus növekedése.

Korábban egy adott robbanótesthez általában egyetlen ismert kialakítás és működési mód társult. Az orosz–ukrán háború során azonban ugyanazon robbanótest több tucat



8. ábra. Nyomtatott elemek – funkcionalitás bővítése
(szerkesztette Daruka N. – illusztráció MI-alkalmazással)

eltérő konfigurációban jelenhetett meg, amelyek között a különbséget sok esetben kizárólag a 3D-nyomtatással előállított szerkezeti elemek jelentették. Ez a változatosság alapvetően megváltoztatta a robbanótestek felismerésének és azonosításának korábbi gyakorlatát.

Nézőpontunk szerint az additív gyártástechnológia legnagyobb katonai jelentősége nem abban mérhető, hogy milyen új alkatrészek készültek a hadszíntéren, hanem abban, hogy alapvetően átalakította a meglévő robbanótestek életciklusát. A korábban rak-tárkészletként kezelt eszközök ismét nagy tömegben hadrafoghatóvá váltak, miközben új harcászati szerepköröket kaptak. Ez a folyamat nem csupán a háború során növelte a rendelkezésre álló képességeket, hanem hosszú távon olyan örökséget hagy maga után, amely a fegyveres konfliktus lezárását követően is meghatározó hatással lesz a robbanótest-menisztési feladatokra.



Ugyanazon robbanótest több tucat eltérő konfigurációban jelenhet meg, amelyet gyakran csak a nyomtatott szerkezet elemei különböztetnek meg.

9. ábra. Kodifikációs diverzitás növekedése
(szerkesztette Daruka N. – illusztráció MI-alkalmazással)

ÚJ ROBBANÓESZKÖZ-KATEGÓRIÁK MEGJELENÉSE AZ ADDITÍV GYÁRTÁSTECHNOLÓGIA ALKALMAZÁSÁVAL

Az orosz–ukrán háború egyik legfontosabb technológiai sajátossága, hogy az additív gyártástechnológia nem önálló fegyverrendszerek tömeges előállítását eredményezte, hanem a már meglévő robbanótestek alkalmazási lehetőségeinek jelentős bővülését. A 3D-nyomtatással készített alkatrészek önmagukban nem rendelkeztek rombolóképességgel, ugyanakkor lehetővé tették, hogy a hagyományos katonai robbanótestek [4] teljesen új hordozóplatformokon, új működési környezetben, illetve sok esetben új harcászati feladatkörben jelenjenek meg.

Véleményünk szerint ezek az eszközök már nem tekinthetők egyszerűen módosított robbanótesteknek. A nyomtatott szerkezeti elemek és a hagyományos robbanótestek együtt olyan új funkcionális rendszereket hoztak létre, amelyek indokolttá teszik egy új eszközcsoporthoz kialakulásának vizsgálatát. A robbanótest katonai értékét ebben az esetben már nem kizárólag maga a robbanóanyag vagy a harci rész határozza meg, hanem az a teljes rendszer, amelynek részét képezi.

Légi alkalmazásra adaptált robbanótestek

A legnagyobb számban megjelent új eszközcsoporthoz azok a robbanótestek tartoznak, amelyeket kereskedelmi, pilóta nélküli légi járművek alkalmazására alakítottak át. Az adaptáció során különböző stabilizátorok, függesztőelemek, kioldószerkezetek és pozicionáló alkatrészek készültek additív gyártástechnológiával, amelyek biztosították a robbanótest megfelelő repülési helyzetét és célba juttatását.

Ezek a szerkezeti elemek lehetővé tették, hogy eredetileg kézből alkalmazható kézigránátok, aknavetőgránátok vagy más kisebb robbanótestek pontos légi támadóeszközzé váljanak. A fejlesztések egyik legfontosabb sajátossága az volt, hogy ugyanazon robbanótesthez számos eltérő kialakítású stabilizátor és függesztőrendszer készült, amelyek folyamatosan alkalmazkodtak az eltérő drónplatformokhoz és harctéri tapasztalatokhoz.

Ez a folyamat alapvetően megváltoztatta a robbanótestek alkalmazási filozófiáját. A korábbi közvetlen alkalmazást fokozatosan felváltotta a távoli célba juttatás lehetősége, miközben a robbanótest eredeti rombolóképessége lényegében változatlan maradt.

FPV-drónok harci részeivé alakított robbanótestek

A konfliktus későbbi szakaszában új fejlődési irányt jelent meg az FPV- (First Person View) drónok tömeges alkalmazásával. Ezek a platformok már nem egyszerű ledobóeszközként működtek, hanem maguk váltak a fegyverrendszer részévé.

Ennek megfelelően a 3D-nyomtatással készített adapterek feladata már nem csupán a robbanótest rögzítése volt, hanem annak megfelelő pozicionálása, aerodinamikai kialakítása és a becsapódáskori optimális működési helyzet biztosítása is. A különböző adapterek lehetővé tették, hogy ugyanazon drónplatform különböző típusú robbanótesteket hordozzon, ezzel jelentősen növelve a rendszer rugalmasságát.

A harctéren kialakult gyakorlat azt mutatta, hogy a platform és a robbanótest közötti kapcsolat egyre inkább modulárisra vált. A robbanótest önmagában már nem teljes fegyvernek volt tekinthető, hanem egy cserélhető harci modulként jelent meg egy komplex rendszerben.

Stabilizált szabadesésű robbanótestek

Az additív gyártástechnológia egyik legelterjedtebb alkalmazási területe a különböző stabilizátorok fejlesztése volt. A szabadesés során a robbanótestek megfelelő becsapódási helyzete jelentősen befolyásolta azok harcászati hatékonyságát, ezért a különböző farokrészek, vezetékszárnyak és aerodinamikai elemek folyamatos fejlesztés alatt álltak és állnak ma is.

A stabilizátorok kialakítása rendkívül gyorsan változott. Az első egyszerű szerkezeteket rövid idő alatt felváltották a kifinomultabb megoldások, amelyek már figyelembe vették a különböző robbanótestek tömegközéppontját, aerodinamikai tulajdonságait és az alkalmazott drónplatform repülési paramétereit is.

Ez jól szemlélteti, hogy a 3D-nyomtatás nem csupán gyártástechnológiai eszköz volt, hanem a harctéri műszaki fejlesztés egyik meghatározó eleme.

Moduláris robbanótest-konfigurációk

A konfliktus során fokozatosan megjelentek azok a moduláris megoldások is, amelyek lehetővé tették különböző robbanótestek gyors cseréjét ugyanazon hordozóplatformon.

Korábban egy adott fegyverrendszerhez jellemzően meghatározott típusú harci rész tartozott. Az additív gyártástechnológia alkalmazásával azonban lehetővé vált, hogy ugyanaz a platform rövid idő alatt eltérő robbanótestek alkalmazására legyen alkalmassá tehető. A különböző adapterek és rögzítőelemek jelentősen növelték a rendszer rugalmasságát, miközben csökkentették az alkalmazáshoz szükséges logisztikai terheket.

Ez a modularitás egyben új problémát is jelent a későbbi mentesítési feladatok során, mivel ugyanazon hordozóeszköz több különböző robbanótesttel is előfordulhat.

Digitális fegyverfejlesztés és decentralizált innováció

A konfliktus egyik legfontosabb újdonsága nem magukban a nyomtatott alkatrészekben keresendő, hanem abban a fejlesztési folyamatban, amely ezeket létrehozta. A digitális tervfájlok gyors megosztása lehetővé tette, hogy ugyanazon szerkezet rövid idő alatt nagyszámú – esetenként mobil – műhelyben készüljön el, miközben minden egyes felhasználó saját tapasztalatai alapján tovább módosíthatta azt.

A hadiipari fejlesztés ezzel részben decentralizálódott. A fejlesztések már nem kizárólag állami kutatóintézetekhez vagy hadiipari vállalatokhoz kötődtek, hanem megjelent a frontvonal közvetlen közelében működő innovációs ökoszisztéma. A digitális tervezés, az additív gyártás és a harctéri visszacsatolás olyan gyors alkalmazkodási ciklust eredményezett, amely a modern hadviselésben korábban nem volt megfigyelhető. [7]

Ennek következtében ugyanazon robbanótestből nem egy vagy két ismert változat alakult ki, hanem potenciálisan több száz különböző konfiguráció, amelyek közül számos kizárólag lokálisan került alkalmazásra. Ez a sokszínűség a háború lezárását követően várhatóan a robbanótest-mentesítés egyik legnagyobb műszaki kihívását fogja jelenteni.

A HÁBORÚ UTÁNI TŰZSZERÉSZ (MENTESÍTÉSI) FELADATOK VÁRHATÓ SAJÁTOSSÁGAI

A fegyveres konfliktusok lezárását követően a robbanótest-mentesítés minden esetben a helyreállítási folyamat egyik legfontosabb előfeltételét jelenti. [13][14] A közlekedési infrastruktúra helyreállítása, a mezőgazdasági termelés újraindítása, a lakosság visszatelepítése és a gazdasági élet normalizálása csak akkor valósulhat meg biztonságosan [14], ha a háborús robbanóanyag-maradványok (ERW)⁶ felderítése és hatástalanítása megtörténik. [15][16]

Az orosz–ukrán háború azonban várhatóan olyan mértékű és olyan összetételű robbanótest-szennyezettséget hagy maga után, amely számos tekintetben eltér a korábbi fegyveres konfliktusok tapasztalataitól.

A második világháborút követő tűzszerész mentesítési feladatok során a szakemberek döntően gyári kialakítású robbanótestekkel találkoztak. [17] Bár azok típusa, mérete és működési elve rendkívül változatos volt, közös jellemzőjüknek tekinthető, hogy ismert műszaki dokumentációval, meghatározott szerkezeti felépítéssel és viszonylag egységes működési logikával rendelkeztek. [4] Az orosz–ukrán háború öröksége ezzel szemben várhatóan nem csupán a robbanótestek mennyiségében, hanem azok szerkezeti sokféleségében is alapvetően különbözik majd.

Ennek következtében várható, hogy a háborúkat követően nem csupán a hagyományos értelemben vett Explosive Remnants of War (ERW) kategóriába tartozó robbanótestekkel kell számolni, hanem azok digitális tervezési és additív gyártási eljárásokkal módosított változataival is.

A jelenleg hatályos nemzetközi terminológia – így különösen a CCW V. jegyzőkönyve és az International Mine Action Standards (IMAS 04.10) – még nem különbözteti meg az ilyen módosított robbanótesteket a hagyományos ERW-eszközöktől. A digitális gyártási technológiák gyors elterjedése azonban indokoltá teheti a fogalomrendszer továbbfejlesztését annak érdekében, hogy a jövőbeni mentesítési, nyilvántartási és kockázatelemzési eljárások megfelelően tükrözzék e robbanótestek sajátosságait. Ennek lehetséges irányát

⁶Háborús robbanóanyag-maradványok vagy háborús robbanótest-maradványok – Explosive Remnants of War – ERW. A CCW V. jegyzőkönyve (Protocol V to the Convention on Certain Conventional Weapons) és az International Mine Action Standards (IMAS) 04.10 szerint az Explosive Remnants of War (ERW) a fegyveres konfliktusokat követően visszamaradó, fel nem robbant (UXO – Unexploded Ordnance) és hátrahagyott (AXO – Abandoned Explosive Ordnance) robbanótestek összefoglaló megnevezése, amelyek továbbra is jelentős veszélyt jelentenek a lakosságra, a katonai állományra és a helyreállítási műveletekre. Az ERW nem foglalja magában a taposóaknákat, amelyekre külön nemzetközi szabályozás vonatkozik.

jelentheti például a Digitally Adapted Explosive Remnants of War (DA-ERW)⁷ vagy az Additively Modified Explosive Remnants of War (AM-ERW)⁸ fogalmak alkalmazása. E terminusok nem hivatalos NATO- vagy ENSZ-fogalmak, ugyanakkor alkalmasak arra, hogy tudományos környezetben elkülönítsék a digitális tervezéssel és additív gyártással módosított robbanótesteket a hagyományos ERW-kategóriától.⁹

A terminológiai egységesítés jelentősége túlmutat a fogalomalkotáson. A NATO-tagállamok, a nemzetközi aknamentesítési szervezetek, a humanitárius mentesítési programok és a nemzeti tűzszerész szervezetek közötti interoperabilitás alapvető feltétele, hogy az új fenyegetéstípusok azonos elvek szerint kerüljenek nyilvántartásba, dokumentálásra és értékelésre. [18] A közös terminológia elősegíti a műszaki felderítési adatok, az incidensek tapasztalatainak, a digitális robbanótest-konfigurációkra vonatkozó adatbázisok, valamint a tapasztalatfeldolgozás (*Lessons Learned*) során szerzett információk nemzetközi cseréjét. [19] Mindez hozzájárulhat ahhoz, hogy a különböző országok tűzszerész-tevékenységet végző szervezetei gyorsabban felismerjék az új konfigurációkat, egységesebb kockázatértékelést alkalmazzanak, valamint hatékonyabban fejlesszék kiképzési programjaikat és műszaki eljárásaikat.

Valószínűsíthető, hogy a digitális tervezés és az additív gyártás elterjedésével a jövő háború utáni mentesítési feladatai már nem kizárólag a hagyományos robbanótestek azonosításáról és hatástalanításáról szólnak majd, hanem egy rendkívül változatos, gyorsan fejlődő és folyamatosan módosuló konfigurációs környezet kezeléséről is. Ez a folyamat nemcsak új technikai kihívásokat jelent a tűzszerész szervezetek számára, hanem hosszabb távon a nemzetközi szabványok, a doktrínák és a terminológiai rendszer felülvizsgálatát is szükségessé teheti annak érdekében, hogy a digitálisan adaptált robbanótestek egységes módon jelenjenek meg a katonai és humanitárius mentesítési gyakorlatban.

A digitálisan módosított robbanótestek megjelenése a háború utáni tűzszerészeti feladatok végrehajtását elsősorban a helyszíni azonosítás, a műszaki felderítés és a kockázatértékelés területén alakítja át. [20] Míg a korábbi konfliktusok során a robbanótest külső kialakítása viszonylag megbízható alapot biztosított a típus, a működési elv és a várható veszélyforrások meghatározásához, addig az additív gyártással módosított

⁷ Digitally Adapted Explosive Remnants of War (DA-ERW) – a jelen tanulmányban bevezetett fogalom, amely az Explosive Remnants of War (ERW) azon kategóriáját jelöli, amelynek külső kialakítását, alkalmazási módját vagy funkcionális jellemzőit digitális tervezéssel és additív gyártástechnológiával előállított szerkezeti elemek (pl. stabilizátorok, adapterek, függesztő- és kioldószerkezetek) módosították. A terminus célja e robbanótestek elkülönítése a hagyományos ERW-kategóriától tudományos elemzési célból. Alkalmazása nem tekinthető hivatalos nemzetközi terminológiának!

⁸ Additively Modified Explosive Remnants of War (AM-ERW) – a jelen tanulmányban bevezetett fogalom, amely az Explosive Remnants of War (ERW) azon kategóriáját jelöli, amelynek külső kialakítását, rögzítési módját vagy funkcionális jellemzőit additív gyártástechnológiával előállított szerkezeti elemek (pl. stabilizátorok, adapterek, függesztő- és kioldószerkezetek) módosították. A kifejezés elsősorban a módosítás előállítási technológiájára utal, és célja e robbanótestek elkülönítése a hagyományos ERW-kategóriától tudományos elemzési célból. A terminus jelenleg nem része a CCW V. jegyzőkönyv, az International Mine Action Standards (IMAS) vagy más hivatalos NATO-terminológia fogalomrendszerének.

⁹ A tanulmány a digitális tervezés és az additív gyártás eredményeként módosított robbanótestek jelölésére a Digitally Adapted Explosive Remnants of War (DA-ERW) gyűjtőfogalmat alkalmazza, amelyen belül az Additively Modified Explosive Remnants of War (AM-ERW) az additív gyártással fizikailag módosított robbanótestek alcsoportját jelöli.

eszközök esetében a külső geometria már nem tekinthető egyértelmű azonosítási ismérvnek. A különböző stabilizátorok, adapterek, függesztőszerkezetek és egyéb kiegészítő elemek részben elfedhetik az eredeti robbanótest szerkezeti elemeit, [21] módosíthatják annak tömegközéppontját, illetve új mechanikai kapcsolatokat hozhatnak létre, amelyek a hagyományos azonosítási módszerek alkalmazhatóságát korlátozzák.

A helyzetet tovább-bonyolítja, hogy a konfliktus során nem egységes műszaki megoldások terjedtek el, hanem nagyszámú, decentralizált fejlesztés eredményeként létrejött konfiguráció jelent meg. [22] A digitális tervfájlok gyors megosztása ugyan elősegítette bizonyos konstrukciók szélesebb körű elterjedését, ugyanakkor a frontvonal közelében működő műhelyek ezeket folyamatosan módosították az adott drónplatformokhoz, a rendelkezésre álló alapanyagokhoz és az aktuális harctéri tapasztalatokhoz igazodva. Ennek következtében a háborút követően várhatóan jelentős számban kerülnek elő olyan robbanótestek, amelyek kialakítása kizárólag egy adott alegységhez vagy hadműveleti térséghez köthető, ezért azokhoz sem gyári dokumentáció, sem hivatalos műszaki leírás nem áll majd rendelkezésre.

A konfigurációs változatosság a hatástalanítási eljárások megtervezésére is közvetlen hatást gyakorolhat. Az additív gyártással előállított szerkezeti elemek különböző polimer alapanyagokból készültek, amelyek mechanikai tulajdonságai, hőállósága, öregedési folyamatai és környezeti terhelhetősége jelentősen eltér a hagyományos fém alkatrészekétől. A hosszabb időn keresztül környezeti hatásoknak kitett nyomtatott elemek rideggé válhatnak, deformálódhatnak vagy részlegesen lebomolhatnak, ami megnehezítheti az eredeti konfiguráció rekonstruálását és növelheti a helyszíni bizonytalanságot. Emiatt a jövő tűzszerésének nemcsak a robbanótest működési sajátosságait kell ismernie, hanem az alkalmazott additív gyártási technológiák és alapanyagok viselkedését is. [20]

További kihívást jelent, hogy a 3D-nyomtatással előállított alkatrészek rendszerint nem rendelkeznek olyan egységes gyártói jelölésekkel, cikkszámokkal vagy szabványos kialakítással, amelyek korábban elősegítették a gyors helyszíni azonosítást. Ennek következtében várhatóan növekedni fog azoknak az eseteknek a száma, amikor a döntést nem előzetesen ismert műszaki dokumentáció, hanem a tűzszerész szakmai tapasztalata, a rendelkezésre álló technikai felderítőeszközök, valamint a digitális adatbázisok és nemzetközi tapasztalatcseréből származó információk együttes értékelése alapozza meg. [19]

Mindez egyértelműen jelzi, hogy a háború utáni robbanótest-mentesítés egyre inkább multidiszciplináris feladattá válik. [20] A hagyományos robbanóanyag-ismeretek mellett növekvő jelentőséget kap a digitális gyártási technológiák, az anyagtudomány, a pilóta nélküli rendszerek és a harctéri innovációs folyamatok ismerete, valamint ezek integrálása a tűzszerészkiképzésbe, a műszaki felderítésbe és a nemzetközi tapasztalatfeldolgozó rendszerbe. [23]

Kutatócsoportunk arra a következtetésre jutott, hogy az orosz–ukrán háború egyik legfontosabb öröksége nem kizárólag a visszamaradó robbanótestek rendkívüli mennyisége lesz, hanem azok példátlan konfigurációs sokfélesége. Miközben a robbanóanyag és az alaprobbanótest sok esetben évtizedekkel korábban kifejlesztett konstrukció, az azt körülvevő szerkezeti elemek már a XXI. századi digitális tervezés és additív gyártás eredményei. Ez a kettősség alapvetően új megközelítést igényel a háború utáni tűzszerész műveletek tervezésében, végrehajtásában és a kapcsolódó nemzetközi szakmai együttműködésben.

A MAGYAR HONVÉDSÉG TŰZSZERÉSZ KÉPESSÉGÉNEK FEJLESZTÉSÉT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

Az orosz–ukrán háború tapasztalatai arra utalnak, hogy a jövő fegyveres konfliktusait követő robbanótest-mentesítési feladatok számos tekintetben eltérnek majd a korábbi műveletek során megszokott gyakorlattól. A hagyományos robbanótestek és fel nem robbant lőszerkezetek mellett egyre nagyobb számban jelenhetnek meg olyan eszközök, amelyek kialakítását és alkalmazási módját additív gyártással előállított szerkezeti elemek módosították. Ez a tendencia nem kizárólag az ukrain hadszíntér sajátosságának tekinthető, hanem olyan technológiai változásnak, amely várhatóan más konfliktusokban is megjelenik.

A Magyar Honvédség tűzszerész képességeinek fejlesztése során ezért célszerű figyelembe venni, hogy a jövő robbanótestei egyre kevésbé lesznek egységes kialakításúak. A gyári dokumentációra épülő azonosítási módszereket fokozatosan ki kell egészíteni olyan eljárásokkal, amelyek lehetővé teszik az egyedi kialakítású vagy utólag módosított robbanóeszközök gyors felismerését és műszaki értékelését. A hangsúly egyre inkább a robbanótest teljes rendszerének vizsgálatára helyeződik át, amely magában foglalja a hordozóplatform, a rögzítőelemek, az additív gyártással előállított alkatrészek és az esetleges egyedi működtető szerkezetek elemzését is.

A kiképzési követelmények várhatóan szintén bővülnek. A hagyományos robbanóanyag- és gyújtószerkezet-ismeretek mellett növekvő jelentősége lehet az additív gyártástechnológia alapelveinek, a leggyakrabban alkalmazott nyomtatási technológiák, alapanyagok és szerkezeti megoldások ismeretének. A 3D-nyomtatással készült alkatrészek felismerése, azok funkciójának értelmezése és a robbanótest működésére gyakorolt hatásuk elemzése a jövőben a tűzszerész szakmai felkészítés részévé válhat.

A technikai felderítőképességek fejlesztése szintén meghatározó jelentőségű. A korszerű képkalkáló rendszerek, a digitális dokumentálási eljárások, a háromdimenziós modellezési lehetőségek, illetve a mesterséges intelligenciával támogatott képfelismerő rendszerek alkalmazása jelentősen hozzájárulhat az egyedi kialakítású robbanótestek gyorsabb azonosításához. Az ilyen megoldások különösen akkor válhatnak fontossá, amikor egy adott robbanóeszköztől nem áll rendelkezésre előzetes műszaki dokumentáció vagy ismert referencia.

A konfliktus tapasztalatai arra is rámutatnak, hogy a robbanótestek műszaki elemzése egyre szorosabban kapcsolódik a digitális adatfeldolgozáshoz. A különböző konfigurációk dokumentálása, rendszerezése és összehasonlító elemzése olyan tudásbázis kialakítását teheti indokolttá, amely támogatja a későbbi műveletek során végzett helyszíni döntéshozatalt. Az additív gyártással módosított robbanótestek esetében ugyanis nem kizárólag az egyes robbanótest-típusok ismerete, hanem azok különböző konfigurációinak nyomon követése is egyre nagyobb jelentőséggel bír.

Mindez új kutatás-fejlesztési feladatokat is kijelöl a katonai műszaki tudományok számára. Indokolttá válhat olyan vizsgálatok végrehajtása, amelyek elemzik az additív gyártással előállított szerkezeti elemek hosszú távú mechanikai viselkedését, környezeti hatásokkal szembeni ellenállását, valamint azt, hogy ezek milyen módon befolyásolják a robbanótestek felismerhetőségét és biztonságos hatástalanítását. Hasonló jelentőségű lehet a különböző drónplatformokhoz kapcsolódó robbanótest-konfigurációk

rendszerezése és tipológiai feldolgozása, amely a későbbi kiképzések és műszaki elemzések alapjául szolgálhat.

A nemzetközi együttműködés szerepe várhatóan tovább erősödik ezen a területen. Az ukrajnai konfliktus során alkalmazott megoldások rendkívül gyorsan terjedtek a digitális információmegosztás révén, ezért a robbanótestekkel kapcsolatos tapasztalatok feldolgozása és megosztása is egyre inkább nemzetközi keretek között valósulhat meg. A NATO, az Európai Unió, valamint a különböző tűzserész szakmai szervezetek együttműködése hozzájárulhat olyan közös adatbázisok, módszertanok és képzési anyagok kialakításához, amelyek elősegítik az új típusú robbanóeszközök egységes értelmezését.

Az orosz–ukrán háború tapasztalatai nem csupán új robbanóeszközök megjelenését eredményezték, hanem a tűzserész szakma tudásigényét is jelentősen kibővítették. A jövő szakembereinek várhatóan egyszerre kell magas szintű robbanóanyag-ismeretekkel, digitális műszaki kompetenciákkal és rendszerszemléletű elemzőképességgel rendelkezniük. Ez a változás hosszú távon meghatározhatja a Magyar Honvédség tűzserész képességeinek fejlesztési irányait, valamint a kapcsolódó kutatási és képzési tevékenységek prioritásait.

A hazai rendvédelmi tűzserész képességekre gyakorolt lehetséges hatások

Az orosz–ukrán háború során megjelent, additív gyártástechnológiával módosított robbanóeszközök várhatóan nem kizárólag katonai műveletek során jelentenek majd kihívást. A konfliktust követően ezek az eszközök – vagy az alkalmazásuk során megszerzett technológiai ismeretek – hosszabb távon a rendvédelmi szervek feladatellátását is befolyásolhatják. Ennek hátterében nem csupán a fegyveres konfliktusokból visszamaradó robbanótestek nagy száma áll, hanem az a körülmény is, hogy a digitális tervezés és az additív gyártástechnológia alkalmazásával létrehozott szerkezeti megoldások viszonylag könnyen reprodukálhatók és továbbfejleszthetők.

A magyarországi rendvédelmi feladatok sajátosságait figyelembe véve különösen a Készenléti Rendőrség Tűzserész Szolgálatára találkoznak olyan robbanóeszközökkel, amelyek külső kialakítása vagy működési módja eltér a korábban ismert gyári konfigurációktól. Bár Magyarország biztonsági környezete alapvetően eltér az aktív hadszínterektől, a robbanóeszközökkel kapcsolatos rendőri intézkedések során egyre nagyobb jelentősége lehet annak, hogy a szakemberek felismerjék az utólag beépített, additív gyártással készült szerkezeti elemeket, valamint azok lehetséges funkcióját.

Hasonló kihívások jelenhetnek meg a Terrorrelhárítási Központ (TEK) feladatellátása során is. A terrorcselekmények megelőzésére és felszámolására irányuló műveletek során a robbanóeszközök műszaki felderítése kiemelt jelentőségű. Az additív gyártással készült alkatrészek elterjedése ugyanakkor növelheti azoknak az eseteknek a számát, amikor egy robbanóeszköz szerkezeti kialakítása jelentősen eltér a korábban ismert mintáktól. Ez különösen a helyszíni kockázatértékelés, a robbanóeszközök dokumentálása és a biztonságos hatástalanítás megtervezése során teheti szükségessé a digitális gyártástechnológiák ismeretét.

Az additív gyártás alkalmazása egy másik szempontból is új helyzetet teremthet. Míg korábban a robbanóeszközök egy része jól ismert gyártói megoldásokhoz volt köthető, addig a digitális tervezés lehetővé teszi, hogy ugyanazon robbanótesthez számos eltérő

kialakítású kiegészítő elem készüljön. Ennek következtében a helyszínen talált eszközök azonosítása egyre inkább egyedi műszaki elemzést igényelhet, amely túlmutat a hagyományos robbanótest-felismerési eljárásokon.

A rendvédelmi szervek számára különös jelentősége lehet a robbanóeszközök digitális dokumentálásának és az egységes adatbázisok kialakításának. Az egyes esetek során feltárt szerkezeti megoldások összehasonlítása, tipizálása és rendszerezése elősegítheti a későbbi intézkedések gyorsabb előkészítését, valamint hozzájárulhat a hazai szakmai tapasztalatok folyamatos bővítéséhez. Ebben a folyamatban a katonai és rendvédelmi szervezetek közötti információcsere, valamint a közös szakmai értékelések kiemelt szerepet kaphatnak.

Nem hagyható figyelmen kívül az sem, hogy a konfliktus során kialakult technológiai megoldások gyorsan terjednek a nyílt információs környezetben. A digitális tervfájlok, fejlesztési tapasztalatok és műszaki megoldások egy része internetes platformokon is elérhetővé vált, ami hosszabb távon növelheti annak valószínűségét, hogy egyes szerkezeti megoldások más földrajzi térségekben is megjelenjenek. Ez önmagában nem jelenti ezen eszközök széles körű elterjedését, ugyanakkor indokoltá teszi a technológiai trendek folyamatos nyomon követését és azok rendvédelmi szempontú értékelését.

A civil robbanótest-mentesítési feladatok várható sajátosságai

A fegyveres konfliktusok lezárását követően a robbanótest-mentesítés elsődleges célja már nem a hadműveletek támogatása, hanem a civil élet biztonságos újraindításának elősegítése lesz. A lakosság visszatérése, a mezőgazdasági termelés helyreállítása, a közlekedési infrastruktúra újjáépítése, valamint a gazdasági tevékenységek újraindítása egyaránt megköveteli a robbanótestekből eredő veszélyek lehető legteljesebb felszámolását. Az orosz–ukrán háború ugyanakkor olyan sajátosságokat mutat, amelyek alapján feltételezhető, hogy a háborút követő robbanótest-mentesítés időtartama, összetettsége és erőforrásigénye meghaladja a közelmúlt legtöbb fegyveres konfliktusának tapasztalatait.

A hátramaradt robbanótestek mennyisége önmagában is rendkívüli kihívást jelent. A konfliktus során nagy számban alkalmaztak tűzérségi lőszeret, aknavetőgránátokat, harckocsi-lőszeret, különböző aknákat, irányított fegyvereket, valamint pilóta nélküli légi járművekről célba juttatott robbanótesteket. Mindezek mellett jelentős mennyiségű olyan robbanóeszköz maradhat a terepen, amelyeket a harctéri körülmények között additív gyártással módosítottak vagy egészítettek ki. Ez a kettősség – a hagyományos robbanótestek nagy száma és az egyedi kialakítású konfigurációk megjelenése – alapvetően meghatározza a jövő mentesítési feladatait.

A civil robbanótest-mentesítés során a legfontosabb prioritást rendszerint a lakott területek, az oktatási és egészségügyi intézmények, a közlekedési útvonalak, valamint a kritikus infrastruktúrák biztonságossá tétele jelenti. Az orosz–ukrán háború sajátossága azonban, hogy a frontvonalak többszöri elmozdulása következtében ugyanazon térségek több alkalommal is harcintézkedési övezetté váltak. Ennek eredményeként különböző időszakokból származó robbanótestek, eltérő műszaki állapotban és eltérő alkalmazási módokkal fordulhatnak elő ugyanazon területen. Ez jelentősen megnehezíti a veszélyeztetettség felmérését és a mentesítési műveletek tervezését.

Az additív gyártással módosított robbanóeszközök további kihívást jelentenek a humanitárius aknamentesítési szervezetek számára is. Ezek a szervezetek jellemzően szabványosított eljárásokkal és jól ismert robbanótesttípusokra kidolgozott módszertanokkal dolgoznak. Az egyedi kialakítású stabilizátorok, rögzítőelemek vagy hordozószerkezetek ugyanakkor olyan szerkezeti változatosságot eredményezhetnek, amely a robbanótestek gyors kategorizálását és a megfelelő hatástalanítási eljárás kiválasztását is nehezíti. Ez különösen azokban az esetekben jelenthet problémát, amikor az adott konfigurációról korábban nem állt rendelkezésre dokumentált tapasztalat.

A konfliktust követő helyreállítás során várhatóan felértékelődik majd a korszerű digitális technológiák szerepe is. A földfelszíni és légi távérzékelés, a pilóta nélküli rendszerekkel végzett felderítés, [24] a háromdimenziós terepmodellezés, illetve a mesterséges intelligenciával támogatott adatfeldolgozás egyaránt hozzájárulhat a veszélyeztetett területek pontosabb azonosításához. Ugyanakkor ezek a technológiák önmagukban nem helyettesítik a helyszíni tűzszerész szakértelmet, különösen akkor, ha egyedi kialakítású vagy korábban nem ismert robbanóeszközökkel kell számolni.

A háborút követő robbanótest-mentesítés várhatóan nem kizárólag nemzeti feladat lesz, hanem széles körű nemzetközi együttműködést igényel. Az ENSZ szakosított szervezetei, a NATO-tagállamok, az Európai Unió, valamint a különböző humanitárius aknamentesítési szervezetek szerepe meghatározó lehet a műszaki támogatás, a szakemberképzés, a technológiai fejlesztések és a tapasztalatcseré területén. Az ukrainai tapasztalatok feldolgozása várhatóan hosszú időre meghatározza majd a nemzetközi robbanótest-mentesítési módszertanok fejlődését is.

Kijelenthetjük, hogy az orosz–ukrán háborút követő civil robbanótest-mentesítés már nem tekinthető kizárólag technikai feladatnak. A műveletek sikeressége közvetlen hatással lesz a lakosság biztonságérzetére, a gazdasági helyreállítás ütemére, a mezőgazdasági területek újrahasznosítására, valamint az érintett térségek hosszú távú társadalmi stabilitására. A robbanótest-mentesítés így a konfliktust követő újjáépítés egyik stratégiai jelentőségű elemévé válik, amelyben a katonai, rendvédelmi, humanitárius és tudományos szereplők összehangolt együttműködése egyaránt nélkülözhetetlen.

STRATÉGIAI KÖVETKEZTETÉSEK

Az orosz–ukrán háború az elmúlt évtizedek egyik legfontosabb technológiai fordulópontját jelentette a robbanóeszközök alkalmazása szempontjából. A konfliktus tapasztalatai egyértelműen rámutattak arra, hogy a haditechnikai innováció már nem kizárólag a nagy hadiipari vállalatok és állami kutatóintézetek fejlesztéseivel kapcsolódik. A digitális tervezés, az additív gyártástechnológia és a decentralizált fejlesztési környezet megjelenésével olyan új innovációs ökoszisztéma alakult ki, amely képes rendkívül rövid idő alatt reagálni a hadszíntéren felmerülő műveleti igényekre. A konfliktus egyik legfontosabb tanulsága ezért nem az, hogy új robbanótestek jelentek meg, hanem az, hogy a meglévő eszközök digitális adaptációja a hadviselés önálló képességterületévé vált.

A kutatás rámutatott arra, hogy az additív gyártástechnológia katonai jelentősége nem önmagában a 3D-nyomtatás alkalmazásában keresendő. A technológia valódi értéke abban rejlik, hogy lehetővé teszi a meglévő robbanótestek gyors, decentralizált és

költséghatékony átalakítását, valamint azok új hordozóplatformokhoz és harcászati feladatokhoz történő adaptálását. Ez a folyamat alapvetően megváltoztatta a robbanótestek fejlesztésének logikáját. Míg korábban egy új képesség létrehozása jellemzően új fegyverrendszer fejlesztését igényelte, addig a jelenlegi konfliktus azt igazolta, hogy megfelelő szerkezeti módosításokkal a meglévő robbanótestek is képesek új műveleti szerepkörök betöltésére.

Megállapítható, hogy a háború utáni robbanótest-mentesítés legnagyobb kihívását várhatóan nem a visszamaradt robbanótestek abszolút mennyisége jelenti, hanem azok rendkívüli szerkezeti és funkcionális változatossága. A jövő tűzszerész műveleteiben egyre gyakrabban kell számolni olyan robbanóeszközökkel, amelyek gyári kialakítása additív gyártással előállított elemekkel módosult, vagy amelyek egyedi konfigurációban, korábban nem dokumentált megoldásokkal kerültek alkalmazásra. Ennek következtében a robbanótestek felismerése és biztonságos hatástalanítása egyre inkább rendszerszintű műszaki elemzést igényel, amely túlmutat a hagyományos robbanóanyag- és gyújtószerkezet-ismereteken.

A kutatás arra is rámutatott, hogy a digitális gyártástechnológia elterjedésével a robbanóeszközök életciklusa alapvetően átalakul. A korábban raktárkészletként kezelt vagy elavultnak tekintett robbanótestek a digitálisan tervezett és additív gyártással előállított szerkezeti elemek révén ismét korszerű műveleti képességgé alakíthatók. Ez a folyamat nemcsak a hadviselés során növeli a rendelkezésre álló képességeket, hanem hosszú távon jelentősen befolyásolja a konfliktust követő robbanótest-mentesítés összetettségét is. A háborúk öröksége ezért a jövőben egyre kevésbé lesz kizárólag robbanóanyag-technikai kérdés, illetve egyre inkább a digitális technológiák katonai alkalmazásának következményeként értelmezhető majd.

A Magyar Honvédség szempontjából mindez arra hívja fel a figyelmet, hogy a jövő tűzszerész képességeinek fejlesztése során a hagyományos robbanótest-ismeretek mellett növekvő hangsúlyt kell kapnia a digitális gyártástechnológiák, a pilóta nélküli rendszerek, az anyagtudomány, valamint a műszaki adatfeldolgozás ismereteinek. Hasonló következtetések vonhatók le a rendvédelmi robbanóeszköz-kezelő szervezetek számára is, ahol az egyedi kialakítású robbanóeszközök felismerése, dokumentálása és elemzése várhatóan egyre nagyobb jelentőséggel bír majd. A katonai és rendvédelmi szervezetek közötti tudásmegosztás, a közös kutatás-fejlesztési programok, valamint az egységes szakmai adatbázisok kialakítása ezért hosszú távon a hazai robbanóeszköz-kezelési képességek egyik meghatározó fejlesztési irányává válhat.

A konfliktus tanulságai ugyanakkor túlmutatnak a tűzszerészeti szakterületen. Az orosz–ukrán háború azt is bizonyította, hogy a digitális technológiák és az additív gyártás alkalmazása alapvetően átalakítja a haditechnikai innováció természetét. A fejlesztési ciklusok lerövidülése, a decentralizált gyártási képességek megjelenése és a digitális tervfájlok gyors megosztása olyan alkalmazkodóképességet biztosított, amely korábban elsősorban az ipari háttér kapacitásaitól függött. Ez a változás a jövő fegyveres konfliktusaiban várhatóan nem kivételes jelenség lesz, hanem a hadviselés egyik általános sajátosságává válik.

A jövő tűzszerész műveleteinek eredményessége egyre inkább azon múlik majd, hogy a szakemberek képesek-e felismerni, értelmezni és a kockázatértékelés, valamint a hatástalanítás során figyelembe venni a robbanótestek mögött álló digitális tervezési, illetve additív gyártási folyamatokat. A XXI. század fegyveres konfliktusaiban megjelenő

robbanótestek ugyanis egyre gyakrabban nem csupán hagyományos haditechnikai termékek, hanem a digitális tervezés, a decentralizált fejlesztés és a gyors additív gyártás eredményei is. Ennek megfelelően a korszerű tűzszerész-felkészítésnek a hagyományos robbanóanyag-ismeretek mellett ki kell terjednie a digitális gyártási technológiák, a pilóta nélküli rendszerek és a konfigurációs adaptációk alapvető összefüggéseinek megismerésére is.

HIVATKOZOTT IRODALOM JEGYZÉKE

- [1] Baker, Sinéad (2026): *Ukraine showed a British unit that it needs to 3D-print drone parts and be able to do it close to the fight*. Business Insider. Forrás: <https://www.businessinsider.com/ukraine-showed-uk-unit-needed-3d-print-drone-parts-war-2026-2?utm> (Letöltés: 2026. 02. 22.)
- [2] Slusher, Matthew (2025): *Lessons from the Ukraine Conflict: Modern Warfare in the Age of Autonomy, Information, and Resilience*. Center for Strategic and International Studies, Washington, D.C., 2 May 2025. Forrás: <https://www.csis.org/analysis/lessons-ukraine-conflict-modern-warfare-age-autonomy-information-and-resilience> (Letöltés: 2026. 06. 11.)
- [3] Veillon, Travis (2026): *From Filament to Firepower: 3D Printing's Impact on Warfare*. War on the Rocks, April 2, 2026. Forrás: <https://warontherocks.com/2026/04/from-filament-to-firepower-3d-printings-impact-on-warfare/> (Letöltés: 2026. 07. 20.)
- [4] Geneva International Centre for Humanitarian Demining (GICHD) (2025): *Explosive Ordnance Guide for Ukraine. Third Edition*. Genf. Forrás: https://www.gichd.org/fileadmin/user_upload/Explosive_Ordnance_Guide_for_Ukraine__GICHD_-_Third_edition__v06_WEB.pdf (Letöltés: 2026. 01. 19.)
- [5] АрміяInform (2023). Forrás: <http://web.archive.org/web/20230513082923/https://armyinform.com.ua/2023/05/13/na-kyiyvshhyni-vidbulysya-navchannya-dftg/> és <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=132168518> (Letöltés: 2026. 07. 22.)
- [6] IEEE Spectrum. Forrás: <https://spectrum.ieee.org/led-light-pollution> (Letöltés: 2026. 07. 22.)
- [7] Bondar, Kateryna (2025): *Ukraine's Future Vision and Current Capabilities for Waging AI-Enabled Autonomous Warfare*. Center for Strategic and International Studies, Washington, D.C., 6 March 2025. Forrás: <https://www.csis.org/analysis/ukraines-future-vision-and-current-capabilities-waging-ai-enabled-autonomous-warfare> (Letöltés: 2026. 06. 11.)
- [8] Mezha, Ukrainian Armor. Forrás: <https://oboronka.mezha.ua/en/yak-ukrajina-buduye-virobnictvo-boyepripasiv-dlya-droniv-307877/?utm> (Letöltés: 2025. 04. 14.)
- [9] Mezha, PrintArmy. Forrás: <https://oboronka.mezha.ua/en/yak-ukrajina-buduye-virobnictvo-boyepripasiv-dlya-droniv-307877/?utm> (Letöltés: 2025. 04. 14.)
- [10] Marine Systems (2032). Forrás: <https://www.marine-systems.nl/en/references/additive-manufacturing-containers/> (Letöltés: 2026. 07. 22.)
- [11] Ember István (2026): *The possibility of manufacturing charge components under battlefield conditions*. In: Igor, Kopál et al (szerk.) Trhacia Technika 2026. 35th International Conference, Banská Bystrica. Slovenská spoločnosť pre trhacie a vŕtacie práce Československej armády 25, 974 01 Banská Bystrica, pp. 256–264.
- [12] Lukács László (2026): A kőszóró aknáktól az intelligens szárazföldi aknáig V. rész. Hagyományos aknák fejlesztése a II. világháború után. *Haditechnika*, 60.(1). pp. 6–12. DOI: 10.23713/HT.60.1.01.
- [13] NATO Standardization Office (NSO): *STANAG 2391 (Edition 4): Explosive Ordnance Disposal Recovery Operations on Fixed Installations*. AEODP-05, Edition C, Version 1. Brussels, NATO Standardization Office.
- [14] European External Action Service (EEAS) (2023): *Clearance of affected lands from explosive hazard: Ukrainian officials, regional authorities and humanitarian demining operators discussed strategic approaches to efficient mine action*. Delegation of the European Union to Ukraine, 15 December

2023. Forrás: https://www.eeas.europa.eu/delegations/ukraine/clearance-affected-lands-explosive-hazard-ukrainian-officials-regional-authorities-and-humanitarian_en (Letöltés: 2026. 07. 24.)
- [15] United Nations (2003): *Protocol on Explosive Remnants of War (Protocol V) to the Convention on Certain Conventional Weapons*. Geneva, 28 November 2003. Forrás: https://treaties.un.org/pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVI-2-d&chapter=26&clang=_en (Letöltés: 2026. 07. 24.)
- [16] Geneva International Centre for Humanitarian Demining (GICHD). (2023). *International Mine Action Standards (IMAS) 04.10 – Glossary of mine action terms, definitions and abbreviations*. Forrás: <https://www.mineactionstandards.org/standards/04-10/?utm> (Letöltés: 2026. 07. 24.)
- [17] Bucsák Mihály – Csurgó Attila – Horváth Tibor – Láng László – Molnár Sándor – Posta Lajos – Szatai Zsolt – Vörös Mihály (2015): *70 év az életveszély árnyékában. A magyar tűzszerész- és aknakutató alakulatok története 1945–2015*. Zrínyi Kiadó, Budapest, 2015. ISBN: 978-963-327-653-2.
- [18] NATO Standardization Office (NSO): *STANAG 2221 (Edition 4): Explosive Ordnance Disposal Reports and Messages*. AEODP-06, Edition C, Version 1. Brussels, NATO Standardization Office.
- [19] NATO Standardization Office (NSO): *STANAG 2834 (Edition 7): The Operation of the Explosive Ordnance Disposal Technical Information Centre (EODTIC)*. AEODP-09, Edition C, Version 1. Brussels, NATO Standardization Office.
- [20] NATO Standardization Office (NSO): *STANAG 2143 (Edition 7): Explosive Ordnance Disposal (EOD) Principles and Minimum Standards of Proficiency*. AEODP-10, Edition C, Version 1. Brussels, NATO Standardization Office.
- [21] NATO Standardization Office (NSO): *STANAG 2369 (Edition 5): NATO EOD Publications Set (NEPS) – Identification and Disposal of Surface, Air and Underwater Munitions*. AEODP-14, Edition B, Version 1. Brussels, NATO Standardization Office.
- [22] NATO Standardization Office (NSO): *STANAG 2370 (Edition 5): Inter-Service Improvised Explosive Device Disposal Activities Operations on Multinational Deployments*. AEODP-03, Edition E, Version 1. Brussels, NATO Standardization Office.
- [23] NATO Standardization Office (NSO): *STANAG 2607 (Edition 3): Guidelines for Interservice Electromagnetic Warfare Support to Explosive Ordnance Disposal Operations on Multinational Deployments*. AEODP-11, Edition C, Version 1. Brussels, NATO Standardization Office.
- [24] United Nations Mine Action Service (UNMAS) (2026): *Ukraine*. Forrás: <https://ukraine.un.org/en/314968-ukraine-changing-future-mine-action-and-world-should-pay-attention> (Letöltés: 2026. 05. 6.)

IPARI MŰSZERGYÁR (IKLAD) TÜZÉRSÉGIGYÚJTÓ-GYÁRTÓ HADIIPARI VÁLLALAT TÖRTÉNETE

INDUSTRIAL INSTRUMENT FACTORY (IKLAD) HISTORY OF THE ARTILLERY FUSE MANUFACTURING MILITARY INDUSTRY COMPANY

POSTA Lajos László¹ – STRAK Vince Gergely²

ÖSSZEFOGLALÁS

Az ikladi Ipari Műszergyár mint tűzérési gyújtót gyártó hadiipari vállalat történeti bemutatásával egyben korszakot is adok a második világháborút követően a Magyar Népköztársaság hadiipari vállalatainak kényeszerű helyzetéről, instabilizáltságukról. Majd a fokozatosan kialakuló stabilitásukról, ami köszönhető a haditechnikai termékek fejlesztésének, valamint a polgári termékek gyártási volumennövekedésének. Az ikladi Ipari Műszergyár tűzérési gyújtó-gyártó bázisként épült 1951–1954 között a mai terminológiát használva úgynevezett „zöldmezős” beruházásként. Az épületek tervezésénél és a gyártógépek beszerzésénél és telepítésénél alapvetően a gyújtógyártó-kapacitás megvalósítása volt a fő szempont. A hadiüzemben végezték a különböző tűzérési löszerek gyújtóalkatrészeinek elkészítését és összeszerelését, valamint kooperációban gyújtóalkatrészek gyártását. A késztermékek átmeneti elhelyezésére, valamint a robbanóanyag és lőpor tárolására védett raktárak szolgáltak. A katonai minőségi átvételhez szükséges vizsgálatokat is az üzemben végezték el. A hullámzó termelési, kapacitási igények miatt keletkező pénzügyi veszteség és kapacitáskihasználatlanság csökkentése érdekében szükségessé vált a kettős profil kialakítása villanymotorok gyártásával. Az „M” kapacitások biztosítása érdekében 1966-ban kibővítették a gyárat egy speciális szerelde üzemépülettel, amely képes volt négyfajta gyújtó összeszerelésére. A HM részéről csökkenő gyártási igény miatt a polgári termékek gyártása túlsúlyba került, majd az 1970-es évek végére szinte teljesen elszorvadt. Az „M” hidegkapacitást a gyártósorok átállításával továbbra is fenntartották. A hadiipari termékeket a raktárakból 1988-ban véglegesen elszállították a MH Püspöcsanak bázis raktáraiba. A polgári termékek gyártása tovább folytatódott, majd a rendszerváltás után a vállalatot privatizálták, a hadiüzem területét (épületeket, raktárakat) felosztották és értékesítették. Hiánypótló irodalomként felsorolom a hadianyagot gyártó üzemeket kódszám szerint.

Kulcsszavak: tűzérési löszergyújtó, hadiipari üzem, gyújtószerelő üzem, hadiipari vállalatok kódszámai, robbanóanyag-raktár, robbantástechnika.

ABSTRACT

This paper presents a historical analysis of the Iklad Industrial Instrument Factory as a defence-industrial enterprise specializing in the production of artillery fuses. At the same time, it provides a broader contextual account of the constrained, unstable operating conditions characterizing military-industrial companies in the Hungarian People's Republic in the aftermath of the Second World War. The study further traces the gradual

¹ Tornádó Trade 2000 Kft. műszaki vezető; HUNMAC-QC Magyar Aknáközpont Nonprofit Kft. ügyvezető, robbantástechnikai szakmérnök, robbantásvezető, mestertűzszerész, IMAS EOD LEVEL 3 végzettség, ADR szaktanácsadó, pirotechnikus. E-mail: posta@tt2000.hu; lajos.posta@hunmac.org; ORCID: 0000-0003-1962-4414.

² 1. osztályú tűzszerész. E-mail: vince.strak@gmail.com; ORCID: 0009-0006-9309-8589.

stabilization of these enterprises, driven by the advancement of military technologies and the increasing significance of civilian production. The Iklad Industrial Instrument Factory was established between 1951 and 1954 as an artillery fuse manufacturing base, realized as a greenfield investment. The design of the facilities, as well as the procurement and installation of production equipment, were primarily guided by the objective of ensuring sufficient fuse manufacturing capacity. The plant was responsible for the production and assembly of fuse components for various types of artillery ammunition, as well as for cooperative manufacturing activities related to fuse components. Secure storage facilities were constructed for the temporary storage of finished products and for the handling of explosives and propellants. In addition, all procedures required for military quality assurance and acceptance testing were conducted on-site. Fluctuations in production demand led to financial losses and underutilized capacities, necessitating the introduction of a dual production profile. As a result, the factory expanded its activities to include the manufacture of electric motors. In order to maintain so-called "M-capacities" (mobilization reserves), the facility was further expanded in 1966 with the construction of a specialized assembly unit capable of assembling four distinct types of artillery fuses. With the gradual decline in demand from the Ministry of Defence, civilian production increasingly came to dominate the factory's output, and by the late 1970s, military production had largely diminished. Nevertheless, mobilization capacities were preserved in the form of "cold reserves," maintained through the reconfiguration of production lines. In 1988, all military-industrial products were permanently removed from the factory's storage facilities and transferred to the Hungarian Armed Forces' storage base in Pusztavacs. Following this transition, civilian production continued until the political and economic changes of the post-socialist period, when the enterprise was privatized. Subsequently, the former military-industrial site – including buildings and storage facilities – was subdivided and sold. As a contribution to the scholarly literature, this study also provides a systematic listing of military production facilities identified by their respective code numbers.

Keywords: *artillery fuses, defence industry, fuse assembly plant, military-industrial enterprises, explosives storage, blasting technology.*

BEVEZETÉS

A második világháborút követő időszakban a háborús károk, valamint az üzemek leszerelése és kitelepítése miatt a magyar hadipari kapacitás és gyártás konvergált a nullához. A politikai viszonyok megváltozása magával hozta a magyar hadiipar újraélesztésének igényét. A politikai vezetés terveiben szerepelt a Magyar Néphadsereg létszámának jelentős növelése, amelyhez elengedhetetlen volt jelentős mennyiségű haditechnikai eszköz gyártása a hadiipari vállalatok részéről. A megnövekedett igény kielégítését csak új hadiipari vállalatok létrehozásával, és a meglévők bővítésével tudták megvalósítani. A fejlesztések keretében került sor Ikladon az Ipari Műszergyár mint tűzérséggyűjtő-gyártó bázisüzem megépítésére és beüzemelésére.

A magyar hadiipari kapacitások fejlesztésével párhuzamosan történt a Magyar Néphadsereg (MN) infrastrukturális fejlesztése (laktanyák, raktárak, repülőterek stb.) is, mely beruházások jelentős terhet jelentettek a népgazdaság számára. Ebben a feszített gazdasági, politikai környezetben kellett megvalósítani a magyar hadiipari kapacitás fejlesztését a HM által meghatározott mennyiségű haditechnikaitemék-igénnyel összhangban.

A következő oldalakon részletesen bemutatjuk:

- A tűzérségi gyűjtőgyártás újjászervezését és kibővítését a második világháború után.
- A hadiipari vállalatok kettős profilja kialakításának szükségszerűségét.
- Az iklandi Ipari Műszergyár történetét, tevékenységét.
- A hadianyagot gyártó vállalatok felsorolását kódszám szerint.

A területi korlátokra való tekintettel, és arra, hogy az ikladi Ipari Műszergyár dokumentumai csak töredékesen találhatók meg az Országos Levéltárban, a hadiipari üzem részletes történetétől és a tüzérségigyjújtó-gyártás mennyiségének statisztikai ismertetésétől eltekintek.

HADIIPARI FEJLESZTÉSEK A MÁSODIK VILÁGHÁBORÚT KÖVETŐEN

A második világháború idején Magyarország területén zajló légi hadműveletek, kifejezetten a hadiipari termelést végző gyárak elleni légi bombázások, és 1944 őszétől a szárazföldi hadműveletek következtében a gyárak, vállalatok jelentős része súlyos károkat szenvedett. A hadikapacitás termelési veszteségét növelte a háború végén a németek által leszerelt és kitelepített üzemek, valamint a háború után a háborús jóvátétel fejében a Szovjetuniónak átadott, leszerelt hadiüzemek gépeszközei, berendezései. [1] A háború befejezése után a hadiipari termelés a személyi és technikai eszközök kapacitáscsökkenése és a Szövetséges Ellenőrző Bizottság tilalma következtében jelentősen visszaesett, a katonai célú gyártás részben szünetelt.

1948 tavaszán a Magyar Kommunista Párt utasítására megkezdték az iparvállalatok államosítását, amely közel 780 vállalatot érintett. A vállalatok államosítását és átvételét, valamint az új vezetők kinevezését (munkásigazgatókat, akik nem mindig a legfelkészültebb, legtapasztaltabb vezetők voltak) az Iparügyi Minisztérium koordinálta. [2] Ezzel párhuzamosan 1948-ban megkezdődött a magyar haderő fejlesztése, szovjetizálása, átfegyverzése szovjet haditechnikai fegyverekre, eszközökre.

1949-ben a nemzetközi viszonyok változása miatt a nyugatról történő gépbeszerzés lehetőségei csökkentek, ezért a hadiipar gyors fejlesztése elképzelhetetlen volt szovjet technikai eszközök, gépek, licenz beszállítása nélkül. A haderő tervezett létszámfejlesztésével összhangban 20 új hadiipari üzem, 4 gyalogságilőszer-gyár, 2 tüzérségilőszer-gyár, 2 gyalogsági és tüzérségi lőszerszerelvénygyár, 3 tüzérségi lőszerszerelő-üzem, 1 löveggyár, 5 lőpor- és robbanóanyag-gyártó üzem, valamint 1-1 vegyipari gépgyár, illetve hadiipari szerszámgépgyár létesítését tartották szükségesnek. [1] Ezek a tervek többször módosultak, megváltoztak, sőt arra is volt példa, hogy egy folyamatban lévő üzem, vállalat építését a megváltozott körülmények miatt csak részben valósították meg, félbeszakították vagy leállították.

1948 áprilisában a HM szervezetében megalakult a XII. Iparszervezési Osztály, amelynek feladata a hazai hadiipar megteremtése és egységes irányítása volt. Még ez év nyarán a hadiipari beruházások felügyeletével az Iparügyi Minisztérium Iparfejlesztési Igazgatóságát bízták meg az Iparügyi Minisztérium és a HM közös irányítása alatt. [2] 1950 őszén a hadigazdálkodás feltételeinek megteremtésére és a kulcsfontosságúvá vált hadiipar kiépítésének irányítására megalakult az Üzemgazdasági Tanács (ÜT). Az ÜT a hadigazdálkodás legfőbb irányító szerveként összefogta és irányította az ország honvédelmét érintő összes gazdasági jellegű kérdést. [2]

1950-ben a Nehézipari Minisztérium 11. Főosztályán az osztályokon belül ágyúgyártási, gyalogsági lőszer, finommechanikai, illetve *gyújtógyártási* csoportok különültek el. 1950 őszén a hadiipari vállalatokat a Nehézipari Minisztérium négy iparágba csoportosította a termékek és technológia alapján: „030” nehézgépgyártás – tüzérségi és

gyalogsgági fegyverzet, illetve hadiipari szerszámgépgyártás: Nehézszerszámgépgyár, Lámpagyár, Danuvia, Könnyűszerszámgépgyár; „060” finommechanika – gyújtógyártás, optikai és finommechanikai cikkek: Gamma, MOM, Vadásztölténygyár; „070” tömegcikk-
ipar – tűzérési és gyalogsági lőszer: Veszprémi Fémfeldolgozó, Andezit Művek; „110” szer-
ves vegyipar – lőpor- és robbanóanyag-gyártás: Nitrokémia, Műszaki Művek. [1]

1951. január 29-én az Üzemgazdasági Tanács határozatával három új polgári üzemet
hadiipari termeléssel hoztak létre: a felnémeti Irodagépgyárat (tűzérési gyújtó és lőszer-
test, kis kaliberű tűzérésgilőszer-szerelés), a sajóbábonyi „Bévé” Borsodi Vegyiműveket (lő-
por és robbanóanyag), valamint a siroki Tubus és Kupakgyárat (gyalogsgági lőszer). [1]

1951. szeptemberben újabb vállalatok létrehozásáról intézkedett az ÜT: Jászberény,
Fémnyomó és Lemezárugyár (7056. sz. vállalat), tűzérési lőszerhüvely; *Iklad, Ipari
Műszergyár* (7052. sz. vállalat)³ [3], tűzérési gyújtó; Gyöngyös Fémárugyár (3051. sz. válla-
lat), gyalogsági kézfegyver; Gödöllő, Gödöllői Gépgyár (3054. sz. vállalat), harckocsijavítás;
Téglás, Hajdúsági Iparművek (7057. sz. vállalat), gyalogsági lőszer, repülőlőszer. [1]

Az Üzemgazdasági Tanács 1951 végén létrehozta a hadiipari főhatóságot, a Közép-
gépipari Minisztériumot (KÖM). A KÖM Lőszer Főosztály alárendeltségébe tartozott a
7052. sz. Vállalat *Iklad – Ipari Műszergyár*. [1]

A tűzérésgilőszer-gyártás evolúciója a háború utáni időszakban

A haditechnikai termékeket gyártó vállalatok az 1950-es évek elején régi gyárakban, már
a második világháború idején is meglévő gépeken, részben új üzemekben, új és részben
használt gépeken kezdték meg a hagyományos tűzérési lőszer (37 mm-től 122 mm ür-
méretig) és az aknagránátok (82 mm és 120 mm) gyártását. A lőszer végyszerelését alap-
vetően a Mechanikai Műveknél (Törökbálint), a Finomszerelvénygyárban (Felnémet) és
részben a Könnyűgépgyárban (Miskolc-Diósgyőr) végezték, sok hadiipari vállalat beszállítói
közreműködésével, csúcsideszakban évi 3 millió lőszer végtermék gyártásával. [1]

1954–1955-ben az elavult, régi haditechnikai eszközökhöz (több ürméret is érintett) a
lőszer gyártását megszüntették. 1959–1960-ban, az SZ–60-as 57 mm-es légvédelmi ágyú
lőszerének és a 100 mm-es harckocsiágyú lőszerének gyártását kezdték meg.

1963-ban a hadiipari kapacitások újraszabályozásakor több ürméret gyártási kapaci-
tásának (hidegkapacitás) megőrzése alól felmentést kaptak a vállalatok, csak az SZ–60-as
57 mm-es és a 100 mm-es lőszer maradtak gyártásban, az utóbbiból exportáltak is. Az
1960-as években gépcserét hajtottak végre több érintett üzemben, illetve felújították az
Ipari Műszergyár *Iklad* és a Finomszerelvénygyár Felnémet galvanizálóját. 1966-ban az ikla-
di Ipari Műszergyárat bővítették egy szerelőüzemmel és technológiai fejlesztésként új gé-
pek beszerzésével. [4]

Az 1970-es években már csak elszórt gépbeszerzésekre került sor, ugyanis 1973-
tól megszűnt az SZ–60-as 57 mm-es lőszer gyártása (1971–73 között éves szinten
40 000 db), majd a keletnémet export megszűnése után visszaesett a 100 mm-es lősze-
rek gyártása (1978 – 21 000 db; 1979 – 46 000 db) is. [5] 1979-ben a technológiai fejlettség

³ Az ÜT 257/23/1951. sz. határozata. – A 7056. sz. vállalat alapítása; az ÜT 258/23/1951. sz. határozata – A 7052.
sz. vállalat alapítása. [3]

szinten tartása és az „M” kapacitás megőrzése érdekében a következő beruházást javasolták: Ipari Műszergyár (gyújtógyártó gépek) 100 millió Ft. [5]

Az 1979-ben készült lőszergyártókapacitás-tanulmány megállapításai:

- 1–2 ürméret gyártása minimális szinten történik, gépparkjuk változó színvonalú: Mechanikai Művek (Törökbálint) repesz-, páncél-, ürméret alatti löszerek és aknagránátok szerelése; Ipari Műszergyár⁴ (Iklad) tűzérési gyújtók, Alumíniumgyár (Budapest XIV. ker.) csappantyús csavarok, puskagránát lemezalkatrész; Videoton (Székesfehérvár) tűzérési gyutacsok és csappantyúk;
- néhány éve leállt a gyártás, de valamilyen kiegészítő haditechnikai terméket gyártanak: Finomszerelvénygyár (Felnémet) repesz- és páncéllöszerek szerelése, gyújtók, puskagránát-forgácsolás; Hűtőgépgyár (Jászberény) rézhüvelyek; Diósgyőri Gépgyár (Miskolc-Diósgyőr) lövedéktestek; Csepel Jármű- és Konfekcióipari Gépgyár (Budapest) csappantyús csavarok;
- 20 éve nem gyártanak tűzérési löszert (kooperációs terméket), visszaigazolták Számítási év-kötelezettségüket, de szakember és gépparkjuk állapota, felkészültségük kétséges teszi az előírt minőségben való gyártást: Alumíniumgyár (Budapest XIV. ker.) acélhüvely; Csepel Acélmű (Budapest) gránáttest sajtolás; Csepel Jármű- és Konfekcióipari Gépgyár (Budapest) acélhüvely, gránáttest forgácsolás; Videoton (Székesfehérvár) tűzérési gyújtó; Ipari Szerelvény és Gépgyár (Budaörs) keményfém csúcsok; Szerszámgépipari Művek Esztergom (testforgácsolás), Láng Gépgyár (Budapest) testforgácsolás. [5]

Tűzérési gyújtót gyártó és szerelő hadiipari vállalatok

A Székesfehérvári Vadásztölténygyár 1949-től (1951–52: 7008. sz. vállalat; korábban, 1936–1949: Vadásztöltény-, Gyutacs és Fémárugyár Rt.). Villamossági Televízió és Rádiókészülékek Gyára (1961–68), Videoton rádió és televízió Gyár (1968-tól). Hadiipari profilja: tűzérési-gyújtó-gyártás, katonai híradástechnika.

A vállalathoz 1950-ben érkeztek meg a HM-től a szovjet tűzérésigyújtó-mintadarabok. A mintadarabok alapján a gyár mérnökei és technológusai – az akkor érvényben lévő magyar szabványok alapján – elkészítették a szerkezeti rajzokat, az anyagvizsgálókat, majd a teljes gyártási és szerelési technológiai dokumentációt. A gyártáshoz szükséges szerszámokat és az ellenőrzéshez szükséges idomszereket ugyancsak a gyári tervezőiroda tervezte meg. A tűzérésigyújtó-mintadarabok alapján elkészített dokumentáció már készen volt, amikor a megérkező szovjet tanácsadók közölték, hogy a licenc dokumentációban rögzített szovjet szabványok alapján kell mindent újra elkészíteni. Az 1950–1951-ben a beérkező szovjet licencdokumentáció alapján a mérnökök átdolgozták a gyártási előírásokat és az átvételi utasításokat. Az eredeti szovjet gyártási dokumentációban előírt szovjet szerszám- és megmunkálógépek, berendezések azonban nem álltak rendelkezésre, az alkatrészek így a meglévő gépekkel készültek, összeszerelésük és minőségi átvételük azonban mindvégig a szovjet előírások szerint történt. [1]

⁴ Megjegyzés: Gesztiványi József műszakvezető visszaemlékezése szerint UX 25 típusú villanymotort (mely a harckocsi motorok hidegindítására szolgált) a speciális szerelde üzemben gyártották 1980-ig.

A székesfehérvári Vadásztölténygyárban felrobbant egy raktár, aminek következtében az addig gyártott utászgyutacsok 70%-a megsemmisült. Az átvételi löpróbnánál a KTM–1 típusú gyújtókkal két esetben csőrobbanás történt.⁵ [6] A KTM–1 gyújtókkal történt balesetek miatt a gyújtószerelést több mint négy hétre leállították.⁶ [7] A gyújtóttesteket alumíniumból készítették a könnyebb és gyorsabb megmunkálás érdekében, az acéltestekre való átállítás lassan történt a megfelelő megmunkáló szerszámok hiánya miatt. A gyártás alatt lévő szovjet típusú gyújtóknál gyakran jelentkeztek problémák, főleg a szovjet licenclőírásoktól való eltérés miatt. Az RGM–2, GVMZ–7, T–5-M gyújtótípusoknál fejlesztésekre volt szükség, mert az itthon gyártott anyagokból, alkatrészekkel (pl. rugók) nem működtek megfelelően, így a Haditechnikai Intézet nem engedélyezte gyártásukat. [1]

A székesfehérvári Vadásztölténygyárnak 1953 után drasztikusan csökkentek a gyújtógyártási feladatai, csak az RGM–2-M és a GVMZ–7 maradt gyártásban, illetve tovább szerelték a T–5 gyújtót. [1] 1963-ban a székesfehérvári Villamossági Televízió és Rádiókészülékek Gyárában (VTRGY) az RGM–2 típusú fejgyújtó gyártásához szükséges (hideg) kapacitás továbbra is rendelkezésre állt. [8]

Finomszerelvénygyár Felnémet 1954-től (1951–52: 7035. sz. vállalat), Béta Beruházási Vállalat (1950), Irodagépgyár (1951), Fémszerelvénygyár (1953). Hadiipari profilja: tüzéségi gyújtó és löszertest, illetve kis kaliberű tüzéségi lőszer szerelése. A hadiipari vállalat „zöldmezős” beruházásban épült, a próbaüzemelés 1951-ben kezdte meg. Az üzemben gyártották főleg az MG–37-M típusú gyújtószerkezetet.

Mosonmagyaróvári Fémfeldolgozó (MOFÉM) 1949-től (korábban, 1922–1949: a Vadásztöltény-, Gyutacs és Fémárugyár Rt.-hez tartozott). Hadiipari profilja: tüzéségi gyújtó alkatrész gyártása és szerelése.

Világítástechnika Vállalat Budapest XIV. ker. Francia út (korábban, 1924–1948: Agrolux Elektromos Gyár). Hadiipari profilja: tüzéségi gyújtó gyártása.

Ipari Műszergyár Iklad (1952-től; 1951–52: 7052. sz. vállalat). Hadiipari profilja: tüzéségigyújtó-alkatrész gyártása és szerelése. A hadiipari vállalat „zöldmezős” beruházásban épült, a próbaüzemelés 1953-ban kezdte meg.

1951-ben a tüzéségi löszergyártásnál a Vadásztölténygyár (Székesfehérvár) és az Irodagépgyár (Felnémet) gyújtógyártó vállalatok gyártókapacitásának lemaradása, a KTM–1; RGM–2-M; MG–37-M és a T–5-M gyújtókból jelentős volt, ennek következtében közel félmillió lőszer összeszerelése késett. Licenchiány miatt a V–229-M, KDT–1-M, D–1-M és MD–5-M gyújtókat 1951-ben nem tudták a hadiipari vállalatok gyártani. [1]

A KÖM 1953 tavaszára sem tudta garantálni a T–5-M, RGM-2-M és MG–37-M gyújtógyártásban jelentkező lemaradás utolérését, mivel a T–5-M gyújtó gyártásához szükséges löport importból kellett biztosítani. A lemaradás miatt több tízezer lőszer végszerelése nem teljesült, a gyújtó nélküli löszereket részben az iparvállalatok, részben a Néphadsereg tárolta. A gyújtó kapacitások lemaradásának elkerülése érdekében elrendelték, hogy

⁵ Egy másik, 1951. márciusi jelentés szerint az átvételi löpróbnánál 1950. december 8-án, illetve 1951. február 8-án történt csőrobbanás, emiatt tetemes mennyiségű, már a csapatoknál lévő löszert kellett újból átvizsgálni. A FAHAK és HAK aknákhöz való 300 000 db gyutacs már az átvételt követően, az elszállítás előtt, az üzem raktárában robbant fel. A baleseteket egyértelműen szándékos szabotázsnek minősítették. [6]

⁶ A KTM–1 gyújtókkal később is történt súlyos baleset. Valamikor 1953 szeptemberében a törökbálinti löszerraktárban két teherautónyi KTM–1 robbant fel, több halálos áldozat volt, és nagy mennyiségű további gyújtót kellett a tűzserészeknek megsemmisíteniük. Hajdu–Pap (2006) pp. 111–113.

1. táblázat. Tüzérségigyújtó-gyártási kimutatás* [1]

Fsz.	Tüzérségi gyújtó típusa	1950 év db	1951 év db	1952 év db	1953 év db
1.	MG-37-M	–	–	20 000	685 300
2.	KTM-1-M	–	–	1 074 200	283 900
3.	KTM-1-U	–	–	21 000	–
4.	RGM-2-M	–	–	115 700	531 300
5.	GVMZ-7-M	–	–	74 900	310 600
6.	M-5-M	–	–	139 000	845 000
7.	T-5-M	–	–	7 000	1 050 800
	Összesen:	–	–	1 451 800	3 706 900

* Szerkesztették a szerzők, [1]. A Magyar Közép-gépipar – Hadiipar és haditechnikai termelés Magyarországon 1945 és 1980 között; 7.1. táblázat. Az 1950 és 1953 között gyártott haditechnikai cikkek mennyisége a vállalati minőségi átvétel (MEO) alapján.

a gyújtógyártó vállalatok 2-2 gyújtótípusnál többet lehetőleg ne gyártsanak, a MOFÉM (Mosonmagyaróvár) és a Fémszerelvénygyár (Felnémet) pedig vezesse be a folyamatos gyártást az addigi zárt ciklusú helyett. Felszólította továbbá a Kohó és Gépipari Minisztériumot (KGM), hogy egy gyújtógyártásra alkalmas vállalatot adjon át a közép-gépiparnak, utóbbi pedig ellenőrizze, hogy az e céllal felajánlott Világítástechnika Vállalat alkalmas-e a feladatra. [1][6] Ami azt jelenti, hogy 1952-ben a világítástechnikai vállalat nem gyártott tüzérségi gyújtót.

Az Üzemgazdasági Tanács a túlgyártások leállítását rendelte el, továbbá a három gyújtógyártó-vállalatnál – Vadásztölténygyár (Székesfehérvár), Fémszerelvénygyár (Felnémet) és Mosonmagyaróvári Fémfeldolgozó (MOFÉM) – meghatározta a gyártásleamaradások 1953. I. negyedév végéig történő megszüntetését. [1][9]

1956-ban a tüzérségi lőszeres esetében az ipar – a gyújtószerelésnél, a löpörgyártásnál és a löszerszerelésnél fennálló szűk keresztmetszetek miatt – az 1953-ban előírt 9,7 millió darab helyett valójában csak 6,5 millió készlőszer előállítására volt képes. A gyújtóforgácsolási és a gyújtószerelési kapacitás között 2,5 millió darabos differencia mutatkozott. A gyújtóhiány miatt aztán kihasználatlanul maradt mintegy 15,4 millió darabos lövedéktest-gyártási és 8,3 millió darabos lőszer-összeszerelési kapacitás is. [1]

Katonai minőségi átvétel

Az 1951-ben az Üzemgazdasági Tanács határozatban írta elő a katonai átvevő feladatait. Az átvevőnek ellenőriznie kellett a honvédelmi termék gyártása során felhasznált anyagokat, az alkatrészek, a félkész termékek és a készgyártmányok minőségét, a technológiai és gyártási utasítások betartását. A készgyártmányt, -terméket az átvételi utasításban előírt összeszerelt állapotban vehette át (komplett szerszámokkal, tartozékokkal, előírt tartalék alkatrészekkel). [10] A szigorú szabályozás túl nagy felelősséget, széles spektrumú ellenőrzési feladatot rakott a katonai üzemi megbízottakra (KÜM), és részben ennek okaként a vállalati minőség-ellenőrzés (MEO) háttérbe szorult. [1]

A haditermelés konjunktúrája és a technikai-technológiai változások, valamint a korszerűbb géppark megjelenése miatt időszerűvé vált a katonai minőségi átvétel újraszabályozása. A Honvédelmi Tanács által 1962. március 22-én jóváhagyott átvételi rend szerint a katonai üzemi megbízott (KÜM) kötelessége volt a Magyar Néphadsereg és a fegyveres testületek számára, illetve exportra készülő haditechnikai gyártmányok ellenőrzése, minőségi és mennyiségi átvétele a jóváhagyott dokumentációk, technikai utasítások, etalonok és szabványok alapján. [1][11]

Gyártás és csomagolás után a kész gyűjtőkat bevédett (általában földszáncsal körbevett) raktárakban helyezték el sorozatonként szétválasztva. A kész gyűjtősorozatokból a KÜM kivette az átvételre előírt mennyiséget majd a gyűjtők bevizsgálását a kísérleti állomás végezte el. [12]

Tüzérségi gyűjtők átvételi vizsgálatai többek között az idomszeres alkatrész-ellenőrzés, szerelés-ellenőrzés, ejtő- és ütőpróba, a késleltető- és működésvizsgálat, valamint a gyutacsbiztosítás gyűjtési próbáit tartalmazta. [12]

Az ikladi Ipari Műszergyár Laboratóriuma a következő műszerekkel volt felszerelve: cseppenés- és lágyuláspont-meghatározó, Abbe-féle refraktométer, univerzális lemez-mélyhúzó és kézi huzalcavaró, ingás ütőmű, Poldi–Brinell-kalapács és -próbaalpca, vákuummérő, volumetáris szénmeghatározó, kénmeghatározó (Schulte–Frank), egyetemes Brinell–Vickers gép stb. [13]

Hadiipari vállalatok katonai és civil profiljainak kialakulása

A kettős profil kialakulásának oka a hullámzó termelési kapacitási igény a magyar haderő, a politikai apparátus részéről, illetve a nemzetközi katonapolitikai helyzet változásai. Hadiipari termeléskapacitási igény hullámzásának nemzetközi katonapolitikai oka volt többek között a koreai háború (1950–53), berlini válság (1953), kubai rakétaválság (1962), berlini válság (1961) és természetesen ide sorolható az 1956-os magyar forradalom is.

A hadiipari termeléskapacitási igény hullámzásának másik fontos aspektusa a Magyar Néphadsereg létszámának drasztikus hullámlása az 1950-es években. Az évtized elején erőltetett tömeghadsereg-építés folyt kb. 218 000 fős csúccsal, ami a gazdaságot a csőd szélére sodorta. Sztálin halála (1953) után, valamint az 1956-os forradalmat követően a haderőt többször is radikálisan leépítették. A Magyar Néphadsereg békelétszámának alakulása: 1949 – kb. 33 000 fő; 1951 – kb. 190 000 fő; 1952–53 – kb. 210 000 fő; enyhülés időszaka (Sztálin halála után) 1954 – kb. 160 000 fő; 1956 eleje – kb. 120 000 fő; forradalom után 1956 – kb. 64 000 fő; 1959 – kb. 84 000 fő és 1961–65 között kb. 90 000 fő. [14] Mindezen tényezők szükségessé tették a kettős profil kialakítását a hadiipari vállalatoknál a pénzügyi veszteségek és a kapacitás kihasználatlanságának csökkentése miatt.

Hadiipari vállalatok katonai és civil profilja 1954-ben [15]: Vadásztölténygyár, Székesfehérvár – tüzérségi gyűjtők – rádiókészülékek és rádióalkatrészek; Mosonmagyaróvári Fémfeldolgozó – tüzérségi gyűjtők – kerékpárlakat, öngyújtó, szelepek és csapok; Finomszerelvénygyár, Felnémet – tüzérségi gyűjtők – kerékpáralkatrészek, motorkerékpár motorja; Világítástechnikai Vállalat, Budapest XIV. Francia út – tüzérségi gyűjtők – biztosítékok, elektromos főzőlap, háztartási ventilátorok; Ipari Műszergyár, Iklad (kódszám: 57) – tüzérségi gyűjtők – rádióalkatrészek, motorkerékpár-alkatrészek. [1]

A finommechanikai termékeket és tűzérési gyújtót gyártó vállalatok alapvetően híradás-technikai és járműipari alkatrészek előállítását kapták feladatul. A hadiipari vállalatok jelentős része így más polgári vállalatok alkatrész-beszállítójává vált, és csak később jelentek meg önálló késztermékekkel (motorkerékpár, háztartási gépek stb.). [1] Egyes hadiipari üzemeknél a haditechnikai termék gyártásához szükséges speciális gépek, eszközök nehezítették, vagy lehetetlenné tették a polgári termékek, gyártmányok előállítását, ezért aztán nem volt ritka a 35–60% közötti kapacitáskihasználtság (pl. Rézhengerművek, *Ipari Műszergyár*).

Az új hadiüzemeket viszonylag korszerű gépekkel és berendezésekkel szerelték fel, de létesítésükkor kizárólag haditermelésre tervezték azokat. Új gépek beszerzésére 1954-től jutott pénz, ezért a polgári cikkek gyártása igen vegyes technológia alkalmazásával történt. A hadiipari üzemek a központi hadiipari tervezőintézettől, az Általános Géptervező Irodától kaptak technológiai segítséget, amely segítség a Fémnyomó- és Lemezárugyárnál (Jászberény) a hűtőszekrény, a Finomszerelvénygyárnál (Felnémet) a moped, az *Ipari Műszergyárnál az elektromos motorok*, a Mátravidéki Fémműveknél (Sirok) pedig a tubusok gyártásához szükséges átalakítások tervdokumentációinak elkészítését jelentette. [1]

A téglási Hajdúsági Iparművekben 1959-től kezdték el a hengeres keverőtárcsás mosógépek, és a centrifugák gyártását. A Hajdúsági Iparművek két fő beszállítója ugyancsak hadiipari vállalat volt: a Fémnyomó- és Lemezárugyár Jászberény (mosógépdob) és az *Ipari Műszergyár Iklad (villanymotor)*. [1]

Az Ipari Műszergyár a haditechnikai termékek gyártásával messze nem használta ki a rendelkezésre álló kapacitását, de ettől eltérni nem lehetett, ezért aztán az 1952–1961 között nagyon sokféle, egymással nem nagyon rokon terméket állított elő. Az előállított termékek sokfélesége abból adódott, hogy olyan termékeket kellett gyártani, amelyek a felállított gépsorok átrendezése nélkül az adott gépparkkal tömeggyártásra alkalmasak voltak. Ilyen termékek voltak a különböző teljesítményű villanymotorok a gabonaszeletelő gép, a szikraforgácsoló gép, sőt a lemezjátszó is. [16]

IPARI MŰSZERGYÁR, IKLAD (7052. SZ. VÁLLALAT), TÜZÉRSÉGIGYÚJTÓ-GYÁRTÓ VÁLLALAT

A gyutacsok, csappantyúk és gyújtószerkezetek 1949-ben meglévő gyárai, a Vadásztöltény Rt. székesfehérvári, nagytétényi és törökbálinti telepei kapacitásbővítéssel 1950 végéig voltak képesek kiszolgálni a lőszergyártást az előzetes tervek számításai szerint. A gyutacsok és csappantyúk előállítása a következő években telepbővítéssel megoldhatónak tűnt. Az 1952 végére megkövetelt gyújtókapacitás viszont már csak két új üzem létesítésével volt teljesíthető: ebből egyet az egyik új lövedéküzem mellé kívánták telepíteni, a másikat pedig több polgári üzem kapacitásainak felhasználásával kiváltani. [1]

Az Üzemgazdasági Tanács határozott az 1951-ben induló hadiipari beruházások telepítési helyéről is, tűzérési szerelő- és gyújtóüzem – Aszódtól északnyugatra, Iklad feletti völgy (Cservölgy). [17] A gazdasági övezet mai elnevezése is Cservölgyi Ipartelep.

Az Országos Tervhivatal körlevélben is megküldte ezeket a telepítési javaslatokat, immár konkrét beruházási összegeket is rendelve az egyes létesítményekhez: – tűzérési szerelő- és gyújtóüzem (Iklad és Aszód között) – 85 db épület, kb. 28 000 m², 85 millió Ft,

ebből 1951-ben 46 millió, tervezett befejezés 1952 május. [1] Az Ipari Műszergyár (Iklad) építkezésének befejezési határidejét módosították 1953. július 1-jéig. [18] Majd a határidőt 1953. december 31-re módosították. Az Ipari Műszergyár, Iklad haditechnikai termelése, tüzéségigyújtó-gyártás, gyújtóalkatrészek előállítása részlegesen 1953 végén kezdődött meg.

1953. december végéig a következő épületek üzemeltek: szerelő és műhelycsarnokból a 2-es; 3-as és a 4–5. épület, a galvanizáló (6–17. ép.), a vegyipari műhelyekből az A-IX-2-I. és az A-IX-2-II. épület, az egyéb ipari épületekből az 50/a *ejtőtorony* és a laboratórium (30. ép.) valamint az ipari raktárak (6–13. ép.).

1954-ben kezdték meg üzemelésüket az 1-es és 22-es épületben lévő szerelő és műhelycsarnokok, a 18-as vegyipari műhely, valamint a 29/K épület, mint ipari raktár. Ezen kívül 1954-ben fejezték be a kapcsolódó létesítmények, infrastruktúrák kiépítését is. [19]

Az Ipari Műszergyár területén kiépítésre került 14 db előírásoknak megfelelő lőporraktár is. [4]

A Kohó és Gépipari Minisztérium 1954. márciusi jelentése alapján az Ipari Műszergyárnál (Iklad) nem valósult meg a vegyi részleg és a karbantartó üzem, így a gyújtógyártás csak részlegesen épült ki. A vállalat a gyújtószerelést a korszerű követelményeket nem kielégítő szerelvényben végezte. A KTM–1 tüzéségi gyújtó szerelését is itt végezték. [4]

A haditechnikai termékek (tüzéségi gyújtó) gyártástechnológiája a székesfehérvári Vadásztölténygyártól került a vállalathoz. A gyártmánnyal együtt több, erre a tevékenységre kiképzett szakembert is áthelyeztek az Ipari Műszergyár állományába. A szakemberek többsége nyugdíjas koráig az üzemben dolgozott. [17]

1962-ben a Kohó és Gépipari Minisztérium (KGM) Finommechanikai Iparigazgatóság irányítása alá került az Ipari Műszergyár.

Az Ipari Műszergyár bővítése gyújtószerelő üzemmel és kiszolgálóépületekkel

Az új kapacitás létesítésének célja a 2/151/1963 HB. határozatban előírt „M” kapacitások realizálása új speciális szerelőüzem létesítésével, és a meglévő alkatrészgyártó-kapacitás bővítésével a HM igényének kielégítése a tüzéségi



1. ábra. 50/a Ejtőtorony épülete (a szerzők saját felvétele)

gyűjtők szerelése terén. A gyűjtő alkatrészgyártás és a szerelőüzemek tervezett tervszámai KTM–1-U fejgyűjtőből 260 000 db, RGM–6 fejgyűjtőből 300 000 db, MD–10 fenékgyűjtőből 620 000 db és DBR–2 fenékgyűjtőből 200 000 db. Éves tervezett termelés termékmenyisége 1 380 000 db különféle gyűjtő szerelése és a hozzájuk tartozó alkatrészek gyártása. Beruházás tervezett befejezése, tervezett próbaüzem 1966. december.

A beruházás szükségességét az indokolta, hogy a fent említett szerelési kapacitás nem volt meg az Ipari Műszergyárban, amely ugyan gyűjtőgyártó bázisként épült 1951–53 között, de a beruházás akkor nem valósult meg teljesen az eredeti tervek szerint. [4]

Az eredeti tervek (1963) szerint kettő speciális szerelőüzem megépítése szerepelt a 26. ép. és a 21/a ép. 1964-ben a gyűjtő igények csökkenése miatt módosították a terveket egy speciális szerelde a 21/a ép. megépítésére. Ezen időszak alatt a szerkezetépítést megelőző nagytömegű földmunkát már elvégezték, az üzem területén ma is látható a 26. ép. helyén kialakított munkagödör. Az új szerelőüzem 21/a ép. telepítési helyének kiválasztását azzal indokolták, hogy közel lesznek a meglévő lőporraktárokhoz, a meglévő honvédségi üzemekhez és nem zavarják a polgári gyártást. NG esetben is csak gyűjtőszerelési célokat szolgált a speciális szerelde. Tekintettel arra, hogy a speciális szereldében négyféle gyűjtő szerelését kellett végezni, ott polgári termékek gyártását nem lehetett végezni egy légtérben a balesetveszély (robbanásveszély) és az alkatrészek keveredése miatt. [4]

Az üzem bővítésének tervezésével 1963 nyarán készültek el. Az építkezést 1965-ben kezdték el és több határidő módosítás után a szerelde próbaüzeme 1967-ben kezdődött. [20]



2. ábra. 8/b épület gyűjtők rázópados vizsgálatához (a szerzők saját felvétele)



3. ábra. 8/c épület robbantókamrák (a szerzők saját felvétele)

A gyújtószerelő üzemek bővítése magába foglalta a 21/a speciális szerelde épületét, amely átvezetéssel egybekötve a szociális épülettel a már meglévő 7. épülettel szemben épült meg. Az üzemben a gyújtószerelés az Ipari Műszergyár kívánságának megfelelően a gyújtószerelés összes munkálatai az előkészítő művelettől a ládába csomagolásig egy épületben egy légtérben valósult meg. A gyújtószerelés organizációs rajzát az 1. sz. melléklet mutatja be.

A 8/b épület helységeiben megépítésük után az elkészült tűzérési gyújtószerkezetek rázópados vizsgálatát végezték. A 8/c jelű épület négy nyitott vasbeton robbantófülkéből áll, melyek tereiben megépítésük után gyutacs és préstest robbantását, valamint a tűzérési gyújtószerkezetek gyártása alatt keletkezett robbanóanyagot, lőport, pirotechnikai anyagot tartalmazó hulladékalkatrészek megsemmisítését végezték. A 8/b ép. rázópados vizsgáló és a 8/c ép. robbantókamra és környékének kivitelezése 1966-ben fejeződött be.

Az épületek speciális jellege miatt a technológiai helységek 30 cm vastag vasbeton falakkal, repülőtetővel, repülőablakkal, robbanásbiztos lámpatestekkel és elektromos szerelvényekkel, a technológiai helységekben linóleumos padlóburkolattal, egyéb helyen aszfaltburkolattal készültek. [12]

A speciális szerelde (21/a sz. épület) technológiájának rövid ismertetése

A kooperációban (más vállalatnál) vagy a vállalat más üremeiben elkészült a MEO és KÜM által átvett, műbizonylattal ellátott alkatrészek az alkatrészraktárba kerültek és felhasználásukig ott tárolták őket. A raktárból látták el a szereldében elhelyezett önálló

szerelőegységeket, amelyek az egyes résszerelvények összeszerelését végezték. Az iniciáló anyagok töltését és sajtolását a présművekben végezték. A présműveket a robbanásveszély miatt különválasztották a szereldétől és vasbeton fallal határolták el. A szereldében elkészült termékek a lakkozóműhelybe kerültek, majd a peremező- és csomagolóműhelybe és végezetül a ládázóműhelybe. A ládákat a készáruraktárban tárolták elszállításukig.

A speciális szereldében (21/a ép.) a napi felhasználáshoz szükséges robbanóanyag mennyiség tárolására 1-1 db raktár (R1 és R2) szolgált a Tetril és a feketelőpor részére. A csappantyú és gyutacs napi szerelendő mennyiségét a raktárban levő páncélszekrényben tárolták. Robbanóanyag mennyisége 240 kg Tetril, 4,8 kg feketelőpor, 20 kg csappantyú és gyutacs, összesen 240,8 kg robbanóanyag. [12] Az R1 és R2 raktárakat célszerűen a présüzem mellett helyezték el. A gyújtószerelés organizációs rajzát az 1. sz. melléklet mutatja be.

Az elkészült gyújtók üzemközi és végátvétele az 1953-ban elkészült 8. sz. épületben és a mellette levő ejtőtorony épületében (50/a) és a rázópados vizsgálatok elvégzésére szolgáló (8/b) épületben (1966-ban épült) történt.

1970-ben az Ipari Műszergyár haditechnikai termelésének aránya már csak 8,8 % volt. [21] Ez a termelési arány valószínűleg nem csak az előállított gyújtószerkezetekre vonatkozott, hanem az egyéb haditechnikai eszközökhöz szükséges termékekre is mint pl. az UX 25 típusú hidegindító-motor harcjárműmotorokhoz.⁷ A HM részéről csökkenő gyújtógyártási igény miatt a polgári termékek gyártása túlsúlyba került, majd a gyújtógyártás a 70-es évek végére szinte teljesen elsovadt. Az „M” hidegkapacitást a gyártósorok átállítással továbbra is fenntartották.

1970-es évek közepétől a kihasználatlan üres robbanóanyag-, lőporraktárakat (2 db) bérbe adták a MAFILM részére pirotechnikai anyag raktározására a 8/b rázópados vizsgálatokra szolgáló épületet pedig pirotechnikai termékek gyártására (természetesen előtte leszerelték a rázópadokat).⁸

A hadiipari termékeket a robbanóanyag-, lőporraktárakból 1988-ban véglegesen elszállították a MH pusztavacsi bázisraktáraiba.⁹ A polgári termékek gyártása tovább folytatódott, majd a rendszerváltás után a vállalatot privatizálták, a hadiüzem területét (épületeket, raktárakat) felosztották és értékesítették. Az Ipari Műszergyár (IMI) többszöri tulajdonosváltás után most is üzemel, jelenleg az IMI Kft. a japán NIDEC csoporthoz tartozó francia Leroy-Somer cég telephelyeként.

A HADIANYAGOT GYÁRTÓ POLGÁRI ÜZEMEK KÓDSZÁMAI

A nehézipari miniszter 1950. februári rendeletében kódszámokkal látta el a hadianyagot gyártó üzemeket, és meghatározta, hogy a kódszámokat a végterméken is fel kellett tüntetni. A kódszámokat iparáganként osztották ki, és a következő években (évtizedekben) következetesen alkalmazták is.

⁷ Gesztiványi József Ipari Műszergyár dolgozó visszaemlékezése, 2026. július 14.

⁸ Török Ferenc pirotechnikus MAFILM dolgozó visszaemlékezése, 2026. július 19.

⁹ Köles Ferenc Polgári Fegyveres Örség (PFÖ) tagjának visszaemlékezése, 2026. július 14.



4. ábra. Gyűjtőtároló fémdoboz jelölésére szolgáló klisé, 57-es kódszámmal (a szerzők saját felvétele)

Kódszámok: – Danuvia N. V. – 01, – Lámpagyár N. V. – 02, – Fémtömegcikkművek N. V. – 03, – Nehézszerzőgépgyár N. V. (Mexikó) [azaz a löveggyár] – 11, – Magyar Acélárugyár N. V. – 12, – Ikarus N. V. – 13, – Veszprémi Fémfeldolgozó N. V. – 21, – Andezit N. V. – 22, – Színesfém N. V. – 23, – Rézhengerművek N. V. – 24, – Nehézszerzőgépgyár N. V. II. [azaz a löszszerelde] – 31, – Weiss Manfréd – 32, – Bányagyutacsgyár N. V. – 33, – Vadásztölténygyár N. V. – 34, – Vasöntő és Gépgyár N. V. – 35, – Béta N. V. – 36, – Prés- és Kovács [sic] N. V. – 37 –

Alumíniumipari N. V. – 38, – MOM Rt. – 41, – Gamma N. V. – 42, – Nitrokémia Ipartelepek Rt. – 51, – Műszaki Művek Rt. – 52, – Kábelgyár – 53. [1][22]

A kódszámokból látható, hogy az 53-as kódnál nagyobb kódszámmal rendelkező hadianyaggyártó üzemek később épültek vagy még nem volt folyamatban az építésük. Az Ipari Műszergyár Iklad (kódszám: 57) építéséről 1950. év végén döntöttek, hogy 1951–52. években kell megépíteni.

A magyar löszer- (alkatrész-) gyártást és -szerelést végző hadiipari vállalatok kódszámainak ismertetése az 1950-es évektől 1990-ig^{10, 11}

A kódszámok ismertetésének célja egy olyan hiánypótló felsorolás elkészítése, amely a szocializmus időszakában a hadiipari gyártóüzemek és a MN javítóbázisai által használt kódszámok feloldásával a gyártmányokhoz a gyárakat hozzárendeli.¹² A kódszámok hadiipari üzemhez rendelésének kiindulási alapja Germuska Pál (2014) *A Magyar Közép-gépipar – Hadiipar és haditechnikai termelés Magyarországon 1945 és 1980 között* című könyve szolgáltatta, ami nagyon részletesen leírja az iparág történetét a vizsgált időszakban, azonban nem terjed ki a hadiipari termékek részletezésére. A magyar löszer- (alkatrész-) gyártást és -szerelést végző hadiipari vállalatok kódszámainak ismertetését a 2. sz. melléklet tartalmazza.

KÖVETKEZTETÉSEK

A második világháború befejezése után megváltozott politikai, társadalmi berendezkedés (szocializmus) következtében a politikai vezetés új haderő-konceptióként tömeghadsereg

¹⁰ Kódszámon (rejtőkódon) a termékeken és/vagy azok csomagolásán feltüntetett gyártási sorozatszámának részét képező „gyártó” mező tartalmát értjük.

¹¹ Szerző: Strak Vince Gergely.

¹² A dokumentált löszermintadarabok a Magyar Honvédség 1. Honvéd Tűzszerész és Folyamőr Ezred és a Készenléti Rendőrség Tűzszerész Szolgálat kiképzési gyűjteményeiben található – szerző megjegyzése.

kiépítését tervezte. A hadiipari vállalatok kapacitásának tervezését ezen koncepció szerint hajtották végre.

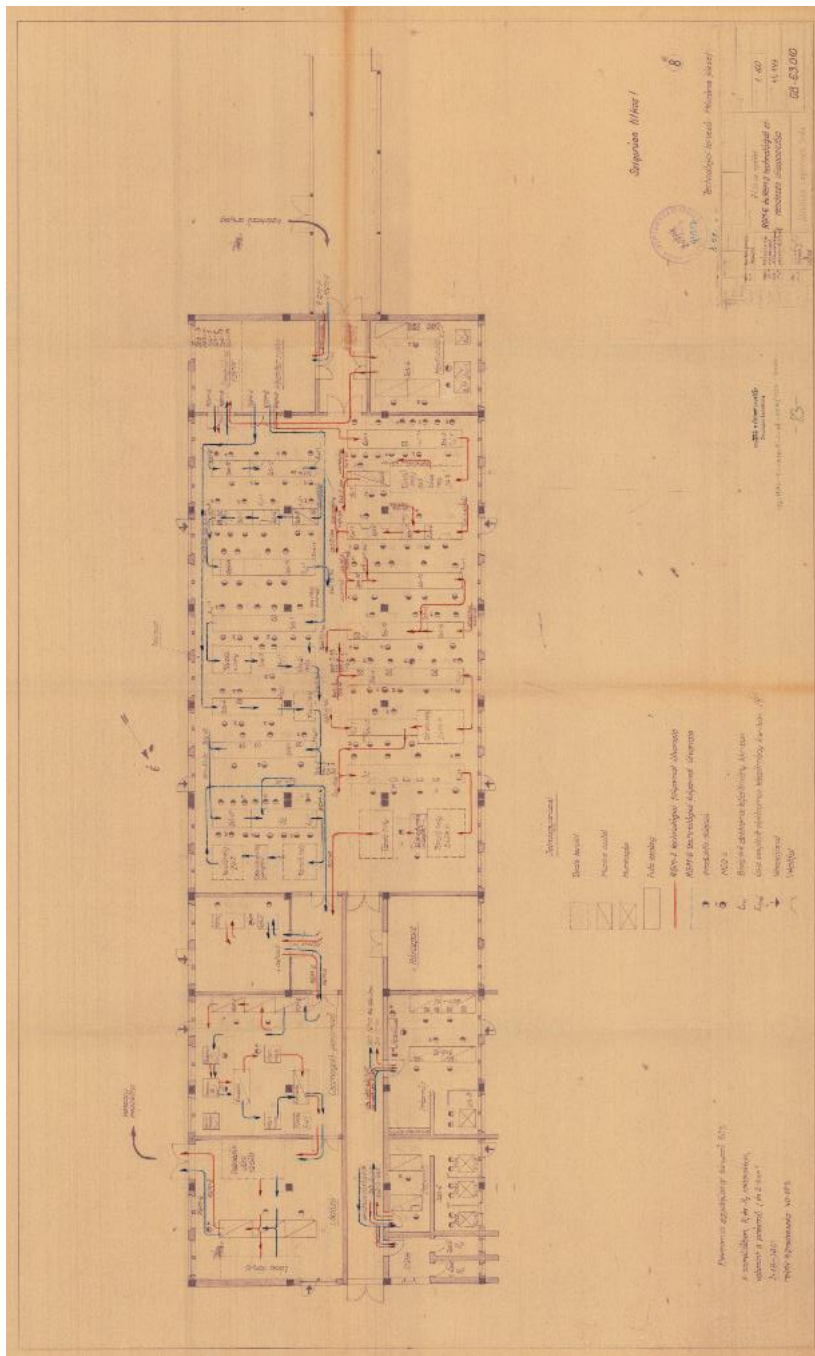
Az 1950-es évek jellemzői: a politikai vezetés fő prioritása a HM részéről jelentkező hadiigények kielégítése. Új gyújtógyártó-vállalatok építése a megnövekedett igények biztosítása érdekében. A szektor negatív hatásai ebben az időszakban: szervezetlenség, pénzügyileg veszteséges üzemelés, kapacitáskihasználatlanság, jelentős mértékű pazarlás. A kedvezőtlen tényezők okai többek között a gyártási licencek hiánya, (pontatlan méretek, nem megfelelő anyagminőség, működésbeli problémák) nem megfelelő minőségellenőrzés, mely okok 10–30%-os selejt előállítását eredményezték bizonyos időszakokban. A gyártási kapacitások és mennyiségek nem megfelelő összehangolása azt eredményezte, hogy bizonyos típusú gyújtószerkezetekből többet gyártottak, más típusokból kevesebbet, ezért a lőszer végszerelését nem tudták megvalósítani, foglalta az összeszerelő üzem raktárkapacitását, mert a katonai végátvételt nem lehetett végrehajtani. Az 50-es évek második felében a hadiipari megrendelések csökkenése a pénzügyi stabilitás növelése, valamint a kihasználatlanság megszüntetése érdekében a hadiipari vállalatoknál megjelent a kettős profil. A civil profil megjelenésével és hatékony alkalmazásával a fenti negatív hatásokat jelentősen mérsékelni tudták a vállalatok.

Az 1960-as évek jellemzői: a hadiipari kapacitások újraszabályozásakor a több űrméret gyártási kapacitásának (hideg kapacitás) megőrzése alól felmentést kaptak vállalatok. Ezen kapacitások felszabadulásával növelni tudták a civil profil gyártási hatékonyságát. A gyártó vállalatoknál fejlesztették a gépparkokat, gépcseréket hajtottak végre. A hadi megrendelések csökkenése miatt a szerelés nem volt folyamatos, hanem a HM megrendelési igényei alapján időszakosan történt. [12] A meghatározott „M” úgynevezett „hideg” gyártási kapacitást viszont fent kellett tartani a gyártó vállalatoknál. A gyújtót gyártó vállalatoknál a termelés nagyobb hányada egyre inkább a civilprofil-termékek előállítására helyeződött át. Fontos tényező volt a vállalatok gazdaságossági működésében, hogy a gyújtók gyártása, előállítása veszteséges volt, mely veszteséget a civilprofil-termékek nyereségéből kellett fedezni.

Az 1970-es, 80-as évek jellemzői: a HM részéről érkező gyártási igények további csökkenése mellett a hangsúly egyre inkább a civilprofil-termékek előállítására tevődött át. Mondhatnánk, hogy a hadiipari termelés kezdett egyfajta „nyüggé” válni a gyújtógyártó vállalatok részére. A gyártási igények csökkenésének folyamata ahhoz vezetett, hogy egyes vállalatoknál a gyújtógyártást megszüntették az „M” hidegkapacitás megőrzése mellett.

1. SZ. MELLÉKLET

Gyűjtőszerelés technológiai elrendezés diszpozíciója 21/a sz. épület



2. SZ. MELLÉKLET

**A magyar lőszer- (alkatrész-) gyártást és -szerelést végző hadiipari vállalatok
kódszámainak ismertetése az 1950-es évektől 1990-ig^{13, 14}**

7 MN. 7. lőszerraktár, Izsák

Lokáció: 46.796254322147625, 19.313911417772175

Profil: vak- és gyakorlólőszer átszerelés, lőszerfelújítás, karbantartás

Egyéb elnevezések: MN 6379

8 MN. 8. lőszerraktár, Kál

Lokáció: 47.664667118162924,

20.266289798355867

Profil: vak- és gyakorlólőszer átszerelés,

lőszerfelújítás, -karbantartás

Egyéb elnevezések: MN 4884



5. ábra. 42M gyakorló kézigránát karbantartás utáni sorozatjelölése: KARB-63-8 Forrás: vatera.hu <https://www.vatera.hu/katalogus/42-m-vecsey-lada-3199098569.html>

11 MN. 11. lőszerraktár, Pusztavacs

Lokáció: 47.1585260834411,

19.472385731386648

Profil: laboratóriumi vizsgálatok,

vak- és gyakorlólőszer átszerelés,

lőszerfelújítás

Egyéb elnevezések: MN 6214



6. ábra. 1-85-11 sorozatszám egy felújított 57 mm-es pct. ágyúhüvelyen (a szerzők felvétele)

21 Fémfeldolgozó Vállalat, Veszprém

Lokáció: 47.11800265869314, 17.875477392167912

Profil: gyalogsági lőszer (9 × 18; 7,62 × 39; 7,62 × 54R; 12,7 × 108; 14,5 × 114; 5,56 × 45)

Egyéb elnevezések: 7002 sz. vállalat, Veszprémi Fémfeldolgozó, Bakony Fém- és Elektromoskészülék Művek

Megjegyzések: Nem új beruházás, a Magyar Lőszerművek utódja.

¹³ Kódszámon (rejtőkódon) a termékeken és/vagy azok csomagolásán feltüntetett gyártási sorozatszámának részét képező „gyártó” mező tartalmát értjük.

¹⁴ Szerző: Strak Vince Gergely.

22 Tömegcikk Művek, Jobbágyi

Lokáció: 47.83660351635994, 19.692907491600895

Profil: gyalogsági lőszer (7,62 × 25; 7,62 × 39; 7,62 × 54R)

Egyéb elnevezések: 7006 sz. vállalat, Andezit Művek, Csokoládégyár

Megjegyzések: Föld alatti objektum, a felszíni részen lőtér. 1961-ben beszüntette a termelést, profilt váltott (K-I. objektum), a gépek Ikladra és Sirokra kerültek [23]

23 Mátravidéki Fémművek, Sirok

Lokáció: 47.90017348146154, 20.2147905114954

Profil: gyalogsági lőszer (7,62 × 39; 7,65 × 17; 9 × 19)

Egyéb elnevezések: 7017 sz. vállalat

25 Hajdúsági Iparművek, Téglás

Lokáció: 47.71196687662,

21.697889021681476

Profil: gyalogsági és repülőlőszer

(12,7 × 108; 14,5 × 114) [24]

Egyéb elnevezések: 7057 sz. vállalat



7. ábra. 25-73 sorozatszám 14,5 × 114 mm-es alumínium hüvelyen [25]

31 Nehézszerzőgépgyár, Diósgyőr

Profil: tüzérségi lőszer szerelés,

Egyéb elnevezések: 7048. sz. vállalat



8. ábra. 31-G17-63 sorozatszám egy 57 mm BR-281 pct. gránát testen (a szerzők felvétele)

32 Rákosi Mátyás Művek, Csepel

Lokáció: 47.424308268159585,

19.052081607800297

Profil: lövedéktest, hüvelygyártás

Egyéb elnevezések:

Megjegyzések: A volt Weiss Manfréd Művek.



9. ábra. 32-14-52 sorozatszám egy 85mm repeszromboló gránát testen (a szerzők felvétele)

33 Mechanikai Művek, Törökbálint

Lokáció: 47.4279052077144,

18.964891759606175

Profil: robbanóanyag préstestek, lövedék- és gránáttöltés, lőszer készre szerelés

Egyéb elnevezések: 7007. sz. vállalat



10. ábra. 3-65-33 sorozatszám egy 100 mm-es harcokcsígyú hüvelyen (a szerzők felvétele)

34 Vadásztölténygyár, Székesfehérvár

Lokáció: 47.21045940475928,

18.43804261748762

Profil: tüzéségi és aknagújtók (KTM-1-M; RGM-2-M; MV-5), kézigránát, gyutacs, utászgyutacs, védő kézigránát

Egyéb elnevezések: 7008 sz. vállalat



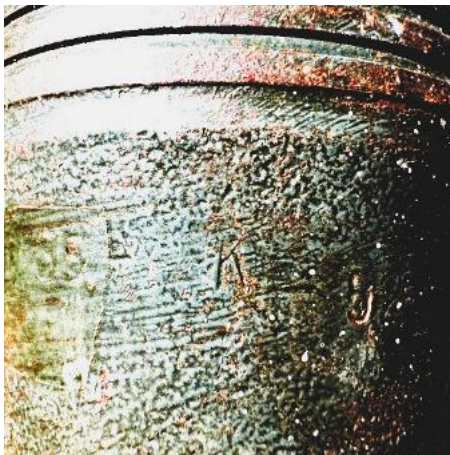
11. ábra. Gyakorló TAT-8 gyutacs csomagolójegye (a szerzők felvétele)

35 Vasöntöde és Gépgyár, Salgótarján

Lokáció: 48.094808894706304,

19.799501236127103

Profil: aknagránáttestek



12. ábra. 35-K-52 sorozatszám egy 82 mm O-832 D aknagránáttesten (a szerzők felvétele)

36 Finomszerelvénygyár, Eger-Felnémet

Lokáció: 47.970249751888666,

20.392092479024008

Profil: tűzérési gyújtók, lövedéktestek, lőszerszerelés

Egyéb elnevezések: 7035 sz. vállalat,

Irodagépgyár, Fémszerelvénygyár



13. ábra. 36-2-64 sorozatszám egy 57 mm BR-281 pct. gránáton (a szerzők felvétele)

37 Prés- és Kovácsoltárugyár, Budaörs

Profil: tűzérési lövedék testek

Egyéb elnevezések: 7038 sz. vállalat



14. ábra. 37-G17-63 sorozatszám egy 100 mm BR-412B pct. gránáttesten (a szerzők felvétele)

38 Alumíniumgyár, Budapest, Erzsébet királyné útja

Lokáció: 47.524851660721986,
19.10466849201008???

Profil: tűzérségi acélhüvelyek,
csappantyús csavarok, UKA-63 test
Megjegyzések: A cég jogutódja ma is
működik.



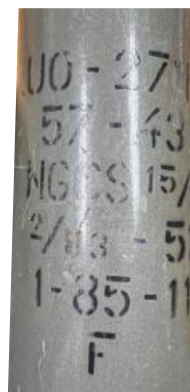
15. ábra. 38-24-52 sorozatszám egy 76 mm-es
tűzérségi hüvelyen (a szerzők felvétele)

51 Nitrokémia, Balatonfűzfő

Lokáció: 47.07787460180078,
18.02308656706385

Profil: lőporok, lőportöltetek,
pirotechnika

Egyéb elnevezések: 1003. sz. vállalat



16. ábra. 2/83-51 lőpor-sorozatszám egy
felújított 57mm-es repeszlőszeren (a szerzők
felvétele)

53 Borsodi Vegyiművek, Sajóbábony

Lokáció: 48.156702004367304,
20.705886623598264

Profil: tűzérségi lőpor, lőportöltetek

Egyéb elnevezések: 1040 sz. vállalat

Megjegyzések: Feltételezés.¹⁵



17. ábra. különböző „53”-as gyárból származó
lőporsorozatszámok egy 122 mm-es Z-463M
hüvelytöltényen (a szerzők felvétele)

¹⁵ Germuska Pál (2014) *A Magyar Közép-gépipar – Hadiipar és haditechnikai termelés Magyarországon 1945 és 1980 között* című könyvében a 104. oldalon szereplő Nehézgépipari minisztériumi lista szerint az „53” kód a Kábelgyárnak volt kijelölve, azonban a talált előfordulások alapján ez lőporprofilú vegyiüzem volt, és mivel a Nitrokémia az „51” számot kapta, logikusan csak a Borsodi Vegyiművek feltételezhető.

57 Ipari Műszergyár, Iklad

Lokáció: 47.677645081320414,

19.43186480583662

Profil: gyújtószerkezet, lőszerszerelés

Egyéb elnevezések: 7052 sz. vállalat



18. ábra. V-429 gyújtószerkezet „57”
kódszámmal (a szerzők felvétele)

99 Hűtőgépgyár, Jászberény

Lokáció: 47.49642965012246,

19.87557881105192

Profil: tűzérési rézhüvelyek

Egyéb elnevezések: 7056 sz. vállalat



19. ábra. A 99 gyár jelölése egy 57 mm-es
légvédelmi géppágyűhüvelyen (a szerzők felvétele)

Chinoin, Budapest, Nagytétény, Bányalég u.

Lokáció: 47.391565136877276,

18.960973405663722???

Profil: gyutacsok, izzógyújtók

Egyéb elnevezések: 7042. sz. vállalat,

Bányagyutacsgyár



20. ábra. Chinoin logós 1-88 sorozatú gyutacs
csomagolójegye (a szerzők felvétele)

E Elzett, Budapest, Bence u. 1–5

Lokáció: 47.54459712495083, 19.072760480830492

Profil: aknagyújtók (EBG-63, NHG-63, DPG-66, AOG-69, MUV)



22. ábra. MUV aknagyújtó E54 sorozatszámmal (a szerzők felvétele)



21. ábra. MUV aknagyújtó csomagolójegye (a szerzők felvétele)

FTM Fémtömegcikk Művek, Budapest X., Monori u. 1–3.

Lokáció: 47.48103860160159,

19.122113025790313??

Profil: kézigránáttest

Egyéb elnevezések: Krolupper



23. ábra. FTM 52 jelzés egy 42/48M kézigránát fejrészén (a szerzők felvétele)

P Ipari Robbanóanyaggyár, Peremarton

Lokáció: 47.121120900865776, 18.102147885485273

Profil: gyújtózsínórok

Egyéb elnevezések: Peremartoni Vegyipari Vállalat

HIVATKOZOTT IRODALOM JEGYZÉKE

- [1] Germuska Pál (2014): *A Magyar Közép-gépipar – Hadiipar és haditechnikai termelés Magyarországon 1945 és 1980 között*. Argumentum Kiadó, ISBN 978-963-446-735-9
- [2] Germuska Pál (2012): A hazai hadiipar szervezeti keretei és irányítása, 1945-1980. *Honvédségi Közlöny* 125. (2012) 3. 717-766.
- [3] Magyar Nemzeti Levéltár Országos Levéltára (MNL OL) XIX-A-98 212. d.
- [4] Magyar Nemzeti Levéltár Országos Levéltára (MNL OL) Kohó és Gépipari Minisztérium XIX-F-6-af 24 d.
- [5] Magyar Nemzeti Levéltár Országos Levéltára (MNL OL) XIX-F-17-s 201. d. *A tűzérési löszergyártás perspektívája*. 1979. február.

- [6] Jelentés – A Vadásztölténygyárban végrehajtott bénítási akciók (1949–1951). 1951. március 10. Magyar Nemzeti Levéltár Országos Levéltára (MNL OL) XIX-A-98 210. d. Az ÜT 158/45/1952. sz. határozatának végrehajtása. d. n.; az ÜT 209/51/1952. sz. határozata.
- [7] Hajdú Ráfis János – Pap János (2006): *Aknászok, tüzszereszek Hős magyar honvédek*. Legatum Kiadó, ISBN 963 87226 0 6.
- [8] Magyar Nemzeti Levéltár Országos Levéltára (MNL OL) Kohó és Gépipari Minisztérium XIX-F-6-af 24 d. 2/151/1963 HB. határozat.
- [9] Gyújtógyártás. 1952. augusztus 12.; Az ÜT 158/45/1952. sz. határozata. 1952. augusztus 18. Magyar Nemzeti Levéltár Országos Levéltára (MNL OL) XIX-A-98 219. d.
- [10] A katonai átvevő szervek jogkörének szabályozásáról szóló minisztertanácsi előterjesztés. 1951. augusztus 11.; az ÜT 239/21/1951. sz. határozata. 1951. augusztus 13. MNL OL XIX-A-98 212. d.
- [11] A haditechnikai és egyéb KÜM átvétel alá tartozó gyártmányok gyártásellenőrzésének és átvételének rendje. 1962. március 13. Magyar Nemzeti Levéltár Országos Levéltára (MNL OL) XIX-A-98 83. d. 55. t.; a HT 6/137/1962. sz. határozata. 1962. március 22. HL HB iratok 1. d.
- [12] Magyar Nemzeti Levéltár Országos Levéltára (MNL OL) Kohó és Gépipari Minisztérium XIX-F-6-af 25 d.
- [13] Magyar Nemzeti Levéltár Országos Levéltára (MNL OL) XXIX-L-5-b 7 d.
- [14] Magyar Néphadsereg. Wikipédia. Forrás: https://hu.wikipedia.org/wiki/Magyar_Néphadsereg (Letöltés: 2026. 07. 20.)
- [15] Magyar Nemzeti Levéltár Országos Levéltára (MNL OL) M-KS 276. f. 95. cs. 224. ö. e. pp. 147–164.
- [16] Jakabfalvy Gyula (2013): *Az Ipari Műszergyár, Iklad (IMI) és az IMI Vevőszolgálat-Márkaszervez ipartörténete*. Budapest.
- [17] Az ÜT 17/3/1950. sz. határozata – Az 1951. évi hadiipari üzemek telephelyeinek kijelöléséről. Magyar Nemzeti Levéltár Országos Levéltára (MNL OL) XIX-A-98 204. d.
- [18] Az ÜT 55/35/1952. sz. határozata. 1952. március 17. Magyar Nemzeti Levéltár Országos Levéltára (MNL OL) XIX-A-98 216. d.
- [19] Ipari Műszergyár Beruházási Terv 1954; Magyar Nemzeti Levéltár Országos Levéltára (MNL OL) XXIX-L-5-b 001/53.
- [20] Magyar Nemzeti Levéltár Országos Levéltára (MNL OL) XXIX-L-5-b, 42 d, 00176/65.
- [21] Az 1970. évi eredmények alapján a haditechnikai tevékenység hatásának értékelése a fontosabb haditechnikai termékeket kibocsátó vállalatok gazdasági helyzetére. 1971. június. Magyar Nemzeti Levéltár Országos Levéltára (MNL OL) XIX-F-6-v 104. d.
- [22] *Hadianyagot gyártó üzemek gyári jelölése*. 1950. február 6. HL MN 1950/T 572. d. 1. cs.
- [23] Interjú Szabó Józseffel, egykori dolgozóval. Forrás: <https://www.nool.hu/helyi-kozelet/2025/08/jobbagyi-loszergyar-titkok-nograd> (Letöltés: 2026. 07. 20.)
- [24] A Honvédelmi Tanács 2/117/1959 sz. határozata, a Hajdúsági Iparművek hadiipari profiljának meghatározása. Magyar Nemzeti Levéltár Országos Levéltára (MNL OL) XIX-A-98 3. doboz 12. dosszié. Forrás: <https://aol.mnl.gov.hu/ark:52333/s10310r2t3q2h3> (Letöltés: 2026. 07. 20.)
- [25] Naboj.org. Forrás: <https://naboj.org/node/1044> (Letöltés: 2026. 07. 20.)

A PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰVEK ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI ROBBANÓTESTEK ÉS TELEPÍTETT AKNÁK MULTISPEKTRÁLIS TÁVÉRZÉKELÉSEN ALAPULÓ FELDERÍTÉSÉBEN ÉS GEOLOKÁCIÓS LEHATÁROLÁSÁBAN

APPLICATION POSSIBILITIES OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN THE MULTISPECTRAL REMOTE-SENSING-BASED DETECTION AND GEOLOCATION OF EXPLOSIVE DEVICES AND EMPLACED LANDMINES

Dr. SZALKAI István¹ – RÁZSÓ Sándor²

ÖSSZEGZÉS

A tanulmány a légi távérzékelési eljárásokat nem önálló bizonyító vagy végleges azonosító módszerként, hanem a tűzserészeti felderítést megelőző előszűrés és műveleti döntés-előkészítés eszközeként értelmezi. A megközelítés középpontjában a szenzoradatok georeferált feldolgozása, a gyanús területek koordinátahelyes lehatárolása, valamint a terepi ellenőrzés szakmai rangsorolása áll. A vizsgálat azt elemzi, hogy a precíziós mezőgazdaságban és a környezeti monitoringban alkalmazott multispektrális, hiperspektrális és termális távérzékelési módszerek milyen műszaki és környezeti feltételek mellett adaptálhatók robbanótestek kismagasságú, pilóta nélküli légi járműről végzett felderítésére. Rendészeti alkalmazásban az eljárás elsődleges célja a felszínen vagy részben fedetten elhelyezett robbanótestek nagy területre kiterjedő, gyors előzetes szűrése. A szakirodalomban közölt összehasonlító mérések alapján a nagy felbontású légi felvételezés kedvező megfigyelési viszonyok között 90% feletti detektálási arányt is elérhet, míg a multispektrális, hiperspektrális és termális csatornák az álcázásból, takarásból vagy a környezeti háttérből eredő kontrasztkülönbségek értelmezését támogatják. Katonai és humanitárius aknamentesítési környezetben a föld alá telepített aknák közvetlen kimutatása helyett elsősorban közvetett indikátorok értékelhetők. Ezek közé tartozik a telepítés során megbolygatott talaj eltérő hőtehetetlensége, a vegetáció stresszreakciója, valamint a felszíni mikrodomborzat és textúra változása. Az indikátorok együttes, georeferált feldolgozása támogatja a gyanús területek lehatárolását, a terepi ellenőrzés szakmai rangsorolását és az aknamentesítési műveletek tervezését. A GPS/INS-alapú georeferálás révén a detektált anomáliák koordinátahelyes munkatérképen jeleníthetők meg, amely a tűzserészeti átvizsgálás célzott bemeneteként szolgál. A szakállomány ennek alapján a lehatárolt és rangsorolt pontokat, illetve zónákat vizsgálhatja át; ez csökkentheti a műveleti időt és a személyi kitettséget, egyúttal dokumentált adatállományt hozhat létre az igazságügyi szakértői és bizonyítási célú felhasználáshoz.

Kulcsszavak: pilóta nélküli légi jármű, multispektrális távérzékelés, robbanótest-felderítés, aknafelderítés, georeferálás, tűzserészeti átvizsgálás.

¹ Okleveles gépészmérnök, okleveles jogász, a katonai műszaki tudományok PhD-fokozatos (NKE Katonai Műszaki Doktori Iskola); igazságügyi szakértő (MISZK nyilvántartási szám: 009325), hulladékgazdálkodási és környezetvédelmi szakterület; E-mail: istvan.szalkai.dr@gmail.com; ORCID: 0000-0003-4667-9525.

² Igazságügyi szakértő (nyilvántartási szám: 006815), robbantástechnikai szakmérnök; E-mail: razsos1@gmail.com ORCID: 0009-0009-8177-3438.

ABSTRACT

The study conceptualises airborne remote sensing not as a stand-alone evidentiary or confirmatory method, but as a pre-screening and decision-support tool for explosive ordnance disposal survey, with particular emphasis on georeferenced sensor-data processing and the prioritisation of subsequent field verification. This paper examines the conditions under which multispectral, hyperspectral and thermal remote-sensing methods developed in precision agriculture and environmental monitoring can be adapted for the low-altitude unmanned aerial survey of explosive ordnance. In law-enforcement applications, the primary objective is rapid wide-area pre-screening of surface-laid or partially concealed explosive ordnance. Comparative studies reported in the literature indicate that high-resolution aerial imaging may achieve detection rates above 90% under favourable observation conditions, while multispectral and thermal channels can support the identification of contrast patterns associated with camouflage or environmental background effects. In military and humanitarian demining contexts, buried landmines are usually assessed through indirect indicators rather than direct visual detection, including altered thermal inertia in disturbed soil, vegetation stress responses, and changes in surface microtopography and texture. The combined interpretation of these indicators supports the delineation of suspected hazardous areas, the prioritisation of field verification, and the planning of clearance operations. GPS/INS-based georeferencing enables detected anomalies to be displayed as coordinate-accurate operational map layers, thereby providing targeted input for explosive ordnance disposal survey. EOD personnel can subsequently inspect delineated and prioritised locations, which may reduce operational time and personnel exposure while creating a documented dataset suitable for forensic expert analysis and evidentiary use.

Keywords: *unmanned aerial vehicle, multispectral remote sensing, explosive ordnance detection, landmine detection, georeferencing, explosive ordnance disposal survey.*

BEVEZETÉS

A robbanótestek – ideértve a bűncselekmény céljából, láthatóan vagy rejtetten elhelyezett improvizált robbanószerkezeteket (Improvised Explosive Device – IED³), valamint a katonai műveletek során telepített gyalogsági és harckocsi elleni aknákat – felderítése napjaink egyik legösszetettebb rendészeti, katonai műszaki és humanitárius biztonsági feladata. [1] A szennyezett vagy potenciálisan veszélyes területek átvizsgálása jelentős élőerőt, időt és közvetlen személyi kitettséget igényel. Az orosz–ukrán háború tapasztalatai különösen érzékeltetik a probléma léptékét: Ukrajna napjainkra a világ egyik legsúlyosabban robbanótesttel szennyezett országává vált, a becslések szerint mintegy 138 000 km² érintett területtel. [2] Mindez felértékeli azokat az eljárásokat, amelyek gyorsabbá, biztonságosabbá és szakmailag megalapozottabbá tehetik a tűzserészeti és aknamentesítési feladatok előkészítését.

A pilóta nélküli légitárművek polgári, közszolgálati és rendészeti alkalmazása az elmúlt évtizedben gyors fejlődésen ment keresztül. A kis magasságú repülés, a centiméteres terepi felbontás, a fedélzeti multispektrális, hiperspektrális és termális szenzorok, valamint a GPS/INS-alapú georeferálás együtt olyan adatgyűjtési környezetet teremtenek,

³ Az improvizált robbanóeszközök olyan, katonai robbanótestekből, katonai vagy ipari robbanóanyagokból, vagy detonáció kiváltására alkalmas házi készítésű anyagokból, illetve ezek közös alkalmazásával rögtönzött módon összeállított és/vagy elhelyezett, rombolásra, mozgásképtelenné tételre vagy zavarkeltésre szánt szerkezet, amely halálos, egészségre ártalmas pirotechnikai vagy gyúlékony vegyi anyagokat és CBRN-alkotóelemeket is tartalmazhat. [1]

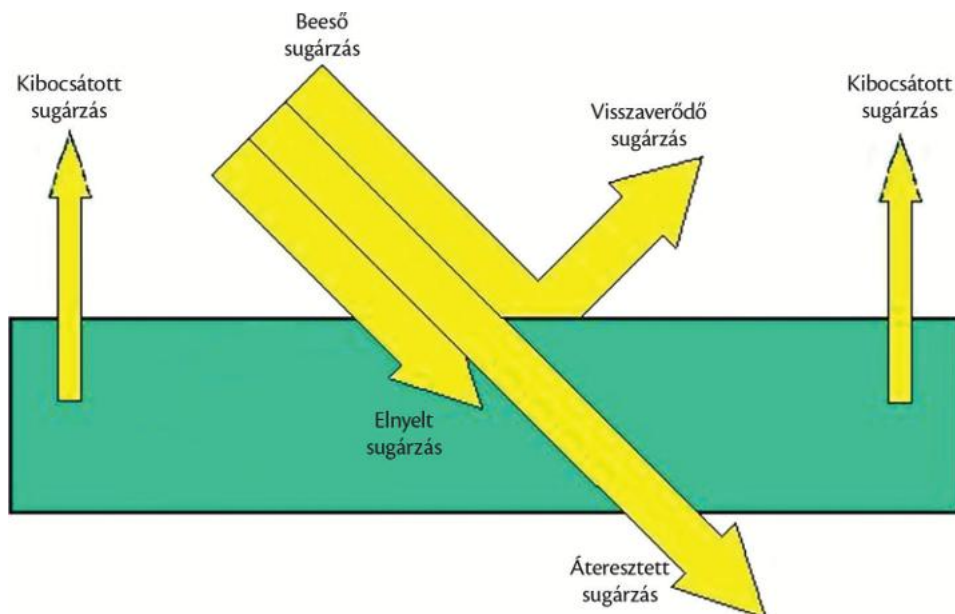
amely nagyobb területek gyors, dokumentált és koordináta-helyes előzetes értékelésére használható. A hazai szakirodalomban Restás Ágoston munkássága úttörő jelentőségű a drónok iparbiztonsági alkalmazása, [3] a légi felderítés útvonaltervezési optimalizálása [4] és a légi tűzoltás paradigmaváltása [5] tekintetében. A tűzdetektálás és az észlelési láncolat összefüggéseit Bodnár és Restás vizsgálta. [6] A drónok veszélyes tevékenységek környezetében történő biztonságos alkalmazását a szerző korábbi társszerzős munkája dolgozta fel, [7] míg a közös légtérhasználat repülésbiztonsági kockázatait Gajdács, Palik és Dudás elemezte. [8] A rendészeti alkalmazási környezet, a közterületi és közösségi rendészet, valamint az önkéntes és civil bűnmegelőzési struktúrák szerepe Kardos Pál kutatásaiban jelenik meg; ezekhez a drónos terület-előkészítés operatív módon kapcsolható. [9][10]

Jelen tanulmány azt vizsgálja, hogy a precíziós mezőgazdaságban és a környezeti monitoringban alkalmazott multispektrális, hiperspektrális és termális távérzékelési módszerek milyen feltételek mellett adaptálhatók robbanótestek kis magasságú, pilóta nélküli légijárműről végzett felderítésére és geológiai lehatárolására. [11] A vizsgálat különösen a spektrális osztályozásra, a talajállapot- és talajbolygatás-vizsgálatra, a vegetációs stressz kimutatására, valamint a termális anomálielemzésre fókuszál. Kiindulópontja, hogy e módszerek ebben az alkalmazási környezetben elsősorban a tűzszerészeti felderítés előkészítését és a döntéshozatal szakmai megalapozását szolgálhatják. A tanulmány külön kezeli a rendészeti alkalmazást, ahol az elsődleges feladat a felszínen vagy részben fedetten elhelyezett robbanótestek nagy területre kiterjedő előzetes szűrése. Ettől eltérő logikát követ a katonai és humanitárius aknamentesítési környezet, ahol a föld alá telepített aknáknak közvetlen kimutatása helyett közvetett indikátorok – a megbolygatott talaj eltérő hőtehetetlensége, a vegetáció stresszreakciója, illetve a felszíni mikrodomborzat és textúra változása – értékelhetők. A georeferált szenzoradatok feldolgozása mindkét esetben a gyanús területek koordináta-helyes lehatárolását, a terepi ellenőrzés szakmai rangsorolását és a tűzszerészeti átvizsgálás dokumentált előkészítését támogatja.

A fenti kutatási célkitűzés olyan módszertani keretet igényel, amely a robbanótest-felderítést nem egyedi szenzortalálatok sorozataként, hanem többmodalitású, térben dokumentált és terepi ellenőrzéssel validálható felderítés-előkészítő folyamatként értelmezi. Ennek megfelelően a következőkben először a multispektrális és hiperspektrális távérzékelés fizikai alapjai kerülnek bemutatásra. Ezt követi a termális indikátorok értelmezése, a pilóta nélküli légijármű szenzorhordozó szerepének elemzése, majd a georeferált anomáliatérképezés műveleti döntéstámogató alkalmazásának tárgyalása.

A MULTISPEKTRÁLIS ÉS HIPERSPEKTRÁLIS TÁVÉRZÉKELÉS ELMÉLETI ALAPJAI

A multispektrális és hiperspektrális távérzékelés roncsolásmentes adatgyűjtési eljárásnak írható le. A módszer a felszín elektromágneses sugárzással való kölcsönhatásából következtet az anyagi minőségre, a felszínborítás állapotára és az ezektől eltérő anomáliákra. Fizikai alapja a reflektancia-spektroszkópia: a vizsgált felületről visszaverődő és a beeső sugárzás aránya hullámhosszfüggő görbeként írható le, amelyet az anyag összetétele, nedvességtartalma, érdessége, szemcsemérete, árnyékoltsága és a megfigyelés geometriája egyaránt befolyásol. [11][12][13]

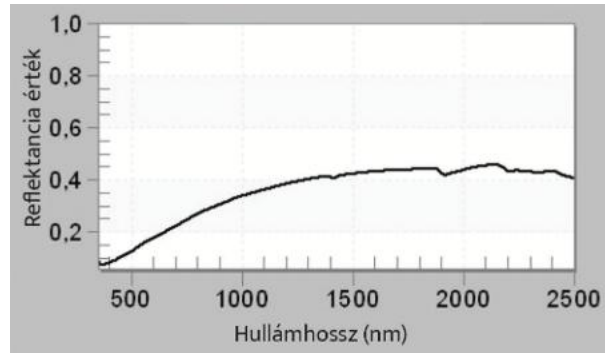


1. ábra. A sugárzás és az anyag kölcsönhatásai (NOAA CSC 2007 után módosítva; közli: Szalkai 2022)

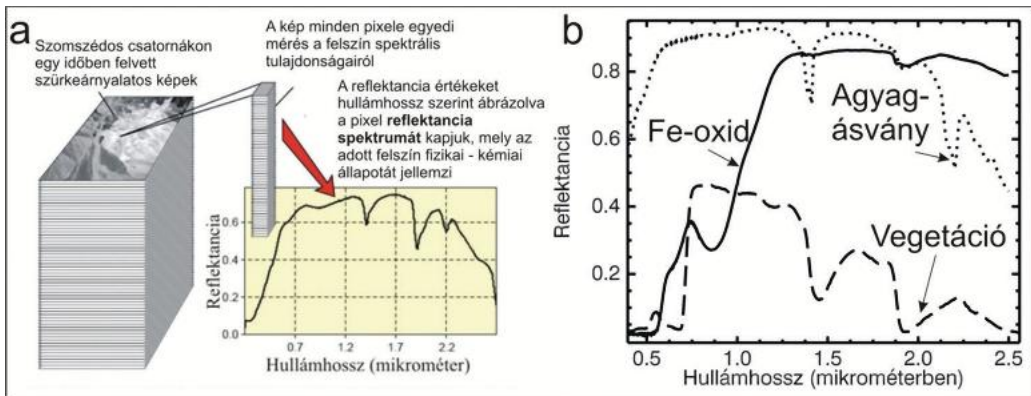
A hiperspektrális aknafelderítési szakirodalom ugyanakkor rámutat arra, hogy a spektrális elkülöníthetőség nem állandó tulajdonság, hanem mérési körülményekhez, háttérfel-színhez és feldolgozási eljárásához kötött valószínűségi információ. [14] A spektrális válasz ezért önmagában nem alkalmas robbanótestek bizonyító erejű azonosítására, megfelelő térbeli és radiometriai felbontás mellett azonban gyanús felszíni vagy felszínközeli anomá-liák kijelölésére használható

A multispektrális szenzorok néhány, előre meghatározott szélesebb spektrális csator-nában, a hiperspektrális rendszerek pedig sok, egymáshoz közeli és keskeny sávban rögzí-tenek adatot. A látható tartomány (VIS, 400–700 nm), a közeli infravörös (NIR), valamint a rövidhullámú infravörös (SWIR) csatornák együttes alkalmazása lehetővé teszi a szabad szemmel nem érzékelhető felszínállapot-változások, vegetációs stresszreakciók, nedvesség-és textúraeltérések, illetve mesterséges anyagokra utaló spektrális kontrasztok vizsgálá-tát. [12][13][14] A hiperspektrális felvétel minden képpontjához spektrális vektor tartozik, amely osztályozási, anomáliakeresési vagy spektrális hasonlóságon alapuló algoritmusok-kal dolgozható fel. A nagy pontosságú GPS/INS-egységgel, RTK/PPK GNSS-megoldással, il-letve szükség esetén földi illesztőpontokkal kiegészített adatgyűjtés eredményeként a ké-pi és spektrális információk ortorektifikált, GIS-környezetben kezelhető térképretegekké alakíthatók. [15][16] Ez a geodéziai megalapozottság a későbbi tűzszerzési terepi ellenör-zésnél nem formai követelmény, hanem az anomáliák tényleges visszakereshetőségének és szakmai validálhatóságának feltétele.

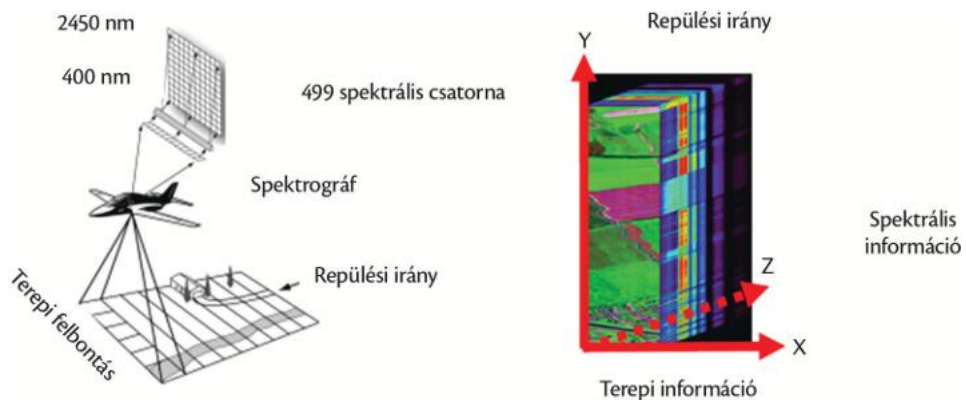
Az 1–4. ábra a multispektrális és hiperspektrális távérzékelés azon fizikai és adatfel-dolgozási alapösszefüggéseit foglalja össze, amelyek a katonai műszaki felderítésben al-kalmazható szenzoradatok értelmezéséhez szükségesek. Az 1. ábra a sugárzás és az anyag kölcsönhatásainak fő folyamatait – az elnyelést, a visszaverődést, az áteresztést és



2. ábra. A talaj reflektanciagörbéje (Forrás: Szalkai 2022)



3. ábra. A hiperspektrális adatfelvételezés rendszere (Forrás: Szalkai 2022)



4. ábra. Hiperspektrális képalkotás – adatkocka (Forrás: Szalkai 2022)

a szóródást – szemlélteti; ezek határozzák meg a különböző felszínborítások reflektancia-alapú elkülöníthetőségét.

A 2. ábra a talaj reflektanciagörbéjén keresztül mutatja be, hogy az anyagi összetétel, a nedvességtartalom és a szerkezeti állapot hullámhosszfüggő spektrális válaszban jelenik meg. A 3. és 4. ábra a hiperspektrális adatfelvételezés rendszerét, illetve az adatkocika felépítését ismerteti: a kétdimenziós térbeli információ minden képpontban spektrális dimenzióval egészül ki. Ezáltal a vizsgált terepszakas nem pusztán képi objektumként, hanem anyag- és állapotfüggő spektrális információként is értékelhető. Ez képezi a spektrális osztályozás, az anomáliakijelölés és a tűzserészeti munkatérkép előállításának műszaki alapját.

A robbanótest-felderítés módszertani értelmezése ezért nem bináris „találat–nem találat” logikára, hanem valószínűségi anomálieértékelésre épül. A mesterséges anyagok – fémek, műanyagok, festett vagy oxidált felületek – spektrális válasza kedvező körülmények között eltérhet a természetes háttértől. Az eltérés erősségét ugyanakkor az álcázás, a részleges takarás, a talajnedvesség, a megvilágítás, a növényborítottság és a szenzor térbeli felbontása jelentősen módosítja. [14] A feldolgozás több egymásra épülő lépésből áll: radiometriai és geometriai korrekcióból, mozaikolásból vagy ortofotó-előállításból, spektrális vagy objektumalapú osztályozásból, az anomáliák térbeli csoportosításából, majd a gyanús pontok vagy zónák georeferált kijelöléséből. [15][16] A folyamat tudományos és művelleti értéke abban áll, hogy ellenőrizhető, reprodukálható és térben dokumentált adatbázist biztosít a terepi validálás szakmai sorrendjének meghatározásához, miközben a helyszíni tűzserészeti ellenőrzés szükségességét változatlanul fenntartja.

TERMÁLIS TÁVÉRZÉKELÉS ÉS A TALAJBOLYGATÁS DETEKTÁLÁSA

A termális távérzékelés a reflektív tartományoktól eltérően nem a visszavert napsugárzást, hanem a felszín saját hőkisugárzását méri, jellemzően a hosszúhullámú infravörös tartományban. A hőmérsékleti mintázatot az anyagi összetétel, a nedvességtartalom, a hővezetési tulajdonságok, a hőtehetetlenség, az érdesség, az árnyékoltság és a napszaki hőmérsékletváltozás egyaránt meghatározza. [17][18] A talajtani és aknafelderítési modellezések alapján a bolygatott és bolygatatlan talaj vízbefogadó és vízmegtartó képessége, valamint hődiffuzivitása eltérő felmelegedési és lehűlési dinamikát eredményezhet [17][18][19]. A termális adatgyűjtés ezért különösen időérzékeny: a hajnali és alkonyati átmeneti időszakokban a kontraszt rendszerint kedvezőbb, míg homogén megvilágítás, erős szél, csapadék vagy vastag növényborítás esetén az anomáliák gyengülhetnek.

A föld alá telepített akna esetében a termális és multispektrális távérzékelés közvetlen tárgydetektálási képessége korlátozott, ezért az értékelés a telepítés másodlagos felszíni következményeire irányul. Ilyen indikátor lehet a talajbolygatásból eredő eltérő hőtehetetlenség, a nedvességtartalom megváltozása, a felszíni textúra és mikrodomborzat módosulása, valamint a gyökérzóna sérüléséből vagy a talajfizikai viszonyok változásából következő vegetációs stressz. [17][18][19][20][21] A nemzetközi vizsgálatok szerint a sekélyen elhelyezett vagy felszínen lévő célok termális infravörös adatokon bizonyos napszakokban és környezeti feltételek mellett kimutathatók. A téves riasztások kockázata ugyanakkor magas, mert hasonló hő- és textúramintázatot természetes talajfolyamatok, állati

bolygatás, árnyékhatasok vagy antropogén zavarások is okozhatnak. [17][18][19] A termális és spektrális indikátorok ezért önállóan nem, csak egymással, a terepi ellenőrzéssel és a műveleti információkkal együtt értelmezhetők.

A PILÓTA NÉLKÜLI LÉGIJÁRMŰ MINT SZENZORHORDOZÓ PLATFORM

A pilóta nélküli légijárművek módszertani előnye a robbanótest-felderítésben elsősorban nem egy új „bizonyító” szenzor megjelenésében, hanem a kis magasságú, ismételhető, nagy térbeli felbontású és georeferált adatgyűjtésben ragadható meg. A 10–120 m közötti repülési profil centiméteres felbontású képi adatnyerést tesz lehetővé, ami a kis méretű felszíni vagy részben fedett célok térbeli elkülönítésének alapfeltétele. [11] Az iparbiztonsági és veszélyes tevékenységek környezetében vizsgált drónos megoldások – távolságtartás a veszélyforrástól, ismételhető mérési protokoll, zárt vagy dokumentált adatátvitel, valamint georeferált adatállomány létrehozása – közvetlenül kapcsolhatók a tűzszerzési és aknamentesítési feladatok kockázatcsökkentési logikájához. [3][7] A platform szerepe, hogy standardizált szenzorhordozóként olyan térbeli adatbázist állítson elő, amely a szakállomány számára célzott ellenőrzési bemenetként használható.

A megbízhatóságot a repülési és adatfeldolgozási paraméterek együtt határozzák meg. Az anomáliák értékelhetőségét befolyásolja a repülési magasság, az átfedés, a terepi felbontás, a szenzor radiometria kalibrációja, a geometriai korrekció, a földi illesztőpontok vagy nagy pontosságú GNSS/INS-megoldások alkalmazása, valamint az időjárás és megvilágítási körülmények dokumentálása. [15][16] A közvetlen georeferálást alkalmazó RTK-alapú UAV-fotogrammetria önmagában is centiméteres-deciméteres pontosságú térképi termékeket eredményezhet. A maradék rendszerszerű hibák azonban – különösen a magassági komponensben – indokolhatják kiegészítő földi ellenőrző pontok vagy kombinált repülési geometriák alkalmazását. [15][16] A repülésbiztonsági és légtérhasználati kezek, valamint az útvonaltervezés optimalizálása ezért nem pusztán üzemeltetési kérdés, hanem a mérési eredmények reprodukálhatóságának feltétele. [4][8] A módszertani protokollnak tartalmaznia kell a felderítendő terület szisztematikus lefedését, az adatminőség ellenőrzését, a feldolgozási lépések naplózását és a terepi validálás eredményeinek visszacsatolását.

ALKALMAZÁSI KONCEPCIÓ: FELDERÍTÉS ÉS GEOLOKÁCIÓS LEHATÁROLÁS

A javasolt munkafolyamat a távérzékelési gyakorlatban bevett lépések robbanótest-felderítési adaptációjára épül. Fő elemei a vizsgált terület műveleti és környezeti előzetes értékelése, a szenzorkonfiguráció és a repülési terv kiválasztása, a radiometriaileg és geometriaileg kontrollált adatgyűjtés, az ortofotó-, termális- és spektrális térképrétegek előállítás, az anomáliadetektálás vagy osztályozás, a találatok georeferált rangsorolása, végül a tűzszerzési terepi ellenőrzés és annak visszacsatolása a modellértékelésbe. A precíziós mezőgazdaságból ismert tematikus térképezési logika – például a parlagfű, a talajállapot vagy a növényállomány stresszének spektrális elkülönítése – ebben a kontextusban nem tartalmaz olyanosságot, hanem módszertani analógiát jelent. A cél a gyanús térbeli mintázatok

koordinátahelyes előszűrése, valamint az élőerős tűzszerészeti ellenőrzés műveleti optimalizálása. [11]

A szakirodalmi eredmények alapján a rendészeti alkalmazás leginkább a felszíni vagy részben fedett robbanótestek gyors előzetes szűrésében ígéretes. Kontrollált teszttereken végzett összehasonlító vizsgálatok szerint a nagy felbontású UAV-alapú RGB-felvételezés kedvező megfigyelési viszonyok között kiemelkedő felszíni detektálási arányt érhet el. Egy 143 célobjektumot tartalmazó, több szenzormodalitást összehasonlító vizsgálatban az RGB-felvételek 94,8%-os felszíni detektálási arányt mutattak. [2] A multispektrális, hiperspektrális és termális csatornák hozzáadott értéke elsősorban az álcázás, a részleges takarás, a háttérkontraszt és az anyagkülönbségek értelmezésében jelentkezhet. [14][21] A mélytanulási megközelítések – például a szétszórható PFM-1 aknák UAV-alapú detektálása – automatizált előzetes osztályozást tesznek lehetővé, általánosíthatóságuk azonban erősen függ az adatbázis változatosságától, a terepi környezettől és a validálási protokolltól. [22]

A katonai és humanitárius aknamentesítés szakirodalma ennél óvatosabb következtetésre vezet a föld alatti célok esetében. A kontrollált összehasonlító mérések azt jelzik, hogy a felszín alatti fémes célok detektálásában továbbra is a kézi fémkeresők, az elektromágneses indukciós eszközök és a magnetométeres eljárások a leghatékonyabbak, míg a műanyag testű, eltemetett célok esetében a talajradar adhat közvetlenebb információt. [2] A UAV-fedélzeti multispektrális, hiperspektrális és termális távérzékelés szerepe ezért ebben a környezetben a közvetett indikátorok – talajbolygatás, megváltozott hőtehetetlenség, nedvesség- és textúraeltérés, vegetációs stressz, mikrodomborzati változás, kráter- vagy műszaki nyomok – integrált értékelése. [14][17][18][19][20][21] A humanitárius aknamentesítés GIS- és távérzékelési szakirodalma ugyancsak azt hangsúlyozza, hogy az UAV-alapú megoldások a kockázatos területek lehatárolásában, a feladatok rangsorolásában és a döntés-előkészítésben lehetnek a leghasznosabbak, nem pedig a terepi mentesítési eljárások kiváltásában. [20][21]

A módszertani keret záró eleme a geolokációs lehatárolás és az eredmények validálható dokumentálása. A GPS/INS- vagy RTK/PPK GNSS-alapú georeferálás révén az anomáliák koordinátahelyes pont-, vonal- vagy poligonobjektumként kerülhetnek GIS-adatbázisba. A térbeli objektumok kockázati súlyozással, bizonytalansági jelöléssel és terepi ellenőrzési státusszal egészíthetők ki. [15][16][20] Az így létrehozott munkatérkép a tűzszerészeti átvizsgálás célzott bemeneteként működik: az adott helyszínt nem azonosított robbanótestként, hanem a szenzoradatok alapján ellenőrzésre kijelölt műveleti pontként vagy zónaként kezeli. Ez a megközelítés csökkentheti a műveleti időt, a személyi kitettséget és a dokumentálatlan döntések arányát. Igazságügyi szakértői szempontból különösen fontos, hogy az adatgyűjtés paraméterei, a feldolgozási lépések, az anomáliák kiválasztási kritériumai és a terepi ellenőrzés eredményei utólag visszakövethetők legyenek.

A bemutatott módszertani keret alapján a drónfedélzeti multispektrális, hiperspektrális és termális távérzékelés robbanótest-felderítési alkalmazása integrált felderítés-előkészítő folyamatként írható le. Ennek lényege a reflektancia- és hőmérsékleti anomáliák, a felszíni textúra, a vegetációs állapot, valamint a geodéziailag megbízható térbeli pozíció együttes értékelése. Az eljárás szakmai érvényessége az ismételhető adatgyűjtésben, a dokumentált feldolgozásban, a többforrású indikátorok rangsorolásában és a terepi tűzszerészeti ellenőrzés célzott támogatásában ragadható meg.

ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK

A vizsgálat eredményei alapján megállapítható, hogy a precíziós mezőgazdaságban, a talajtani vizsgálatokban és a környezeti monitoringban alkalmazott multispektrális, hiperspektrális és termális távérzékelési eljárások meghatározott műszaki, környezeti és módszertani feltételek mellett adaptálhatók a robbanótestek kismagasságú, pilóta nélküli légi járműről végzett felderítésére. Az adaptáció tudományos alapját nem az egyes szenzorok önmagukban vett detektálási teljesítménye, hanem a különböző hullámhossztartományokban megjelenő reflektancia-, hőmérsékleti, texturális és vegetációs információk együttes értelmezése adja. Ebből következően a módszer alkalmazását nem önálló azonosító vagy bizonyító eljárásként, hanem a tűzserészeti felderítést megelőző, térben dokumentált műveleti döntés-előkészítő folyamatként célszerű meghatározni.

Rendészeti alkalmazásban a legnagyobb hozzáadott érték a felszínen vagy részben fedetten elhelyezett robbanótestek nagy területre kiterjedő, gyors előzetes lehatárolásában jelentkezhet. A nagy felbontású RGB-felvételezés kedvező megfigyelési viszonyok között önmagában is jelentős detektálási képességet biztosíthat. A multispektrális, hiperspektrális és termális csatornák ehhez a vizuális tartományban nehezen értelmezhető kontrasztkülönbségek, álcázási mintázatok, anyagi jellemzők és háttérhatások értékelésével adhatnak többletinformációt. A módszer különösen olyan helyzetekben lehet indokolt, amikor a teljes terület élőerős átvizsgálása időigényes, kockázatos vagy műveletileg nem célszerű, ugyanakkor a szakállomány számára rövid időn belül koordinátahelyes ellenőrzési bemenet szükséges.

Katonai és humanitárius aknamentesítési környezetben a következtetés szükség szerint óvatosabb. A föld alá telepített aknák közvetlen távérzékelési kimutatása jelenleg csak korlátozott feltételek között értelmezhető, ezért a vizsgált eljárások elsődleges szerepe a közvetett indikátorok együttes értékelésében ragadható meg. Ilyen indikátor a telepítés során megbolygatott talaj eltérő hőtehetetlensége, a nedvességi viszonyok lokális módosulása, a vegetáció stresszreakciója, továbbá a felszíni mikrodomborzat és textúra megváltozása. Ezek önmagukban nem bizonyítják robbanótest jelenlétét, de térben összerendezve és georeferált formában alkalmasak lehetnek gyanús területek kijelölésére, kockázati rangsorolására és a terepi ellenőrzés szakmai tervezésére; ezzel közvetlenül megalkalmazzák a koordinátahelyes munkatérkép előállítását.

A GPS/INS-, illetve RTK/PPK GNSS-alapú georeferálás révén a detektált anomáliák koordinátahelyes munkatérképen jeleníthetők meg. Ez a munkatérkép a tűzserészeti átvizsgálás célzott bemeneteként működik: nem helyettesíti a szakállomány helyszíni döntését, hanem előre kijelöli azokat a pontokat, sávokat vagy poligonokat, amelyek műveleti szempontból ellenőrzési elsőbbséget élveznek. A távérzékelési adatfeldolgozás így hozzájárulhat a műveleti idő csökkentéséhez, a személyi kitettség mérsékléséhez, valamint a felderítési döntések dokumentáltabb és utólag visszakövethetőbb megalapozásához. Igazságügyi szakértői szempontból külön értéket jelent, hogy a felvételi paraméterek, a feldolgozási lépések, az anomáliák kijelölési kritériumai és a terepi ellenőrzés eredményei egységes adattáblományban rögzíthetők.

A kutatás korlátai ugyanakkor egyértelműen kijelölik a további vizsgálatok irányát. A módszer teljesítménye erősen függ a repülési magasságtól, a szenzor térbeli és radiometriai felbontásától, a megvilágítási és meteorológiai körülményektől, a talaj nedvességi

állapotától, a növényborítottságtól, az álcázás módjától és a célobjektum méretétől. A gyakorlati alkalmazhatóság bizonyításához ezért hazai környezetben is kontrollált teszterületi mérésekre, ismert elrendezésű célobjektumokra, több napszakban és évszakban végzett adatgyűjtésre, valamint a detektálási arány, a téves riasztási arány és a geolokációs pontosság számszerű értékelésére van szükség. Kiemelt jelentőségű a terepi validálás eredményeinek visszacsatolása, mert csak így határozható meg, hogy az egyes szenzormodalitások milyen körülmények között adnak műveletileg értékelhető többletinformációt.

Összességében a pilóta nélküli légijárműről végzett multispektrális, hiperspektrális és termális távérzékelés nem a hagyományos tűzszerészeti és aknamentesítési eljárások alternatívája, hanem azok műveleti előkészítését és szakmai megalapozását erősítő kiegészítő képesség. A technológia bevezetése akkor tekinthető megalapozottnak, ha szabványosított adatgyűjtési és feldolgozási protokoll, ellenőrizhető georeferálási eljárás, dokumentált terepi validálás, valamint egyértelmű felelősségi és adatkezelési rend kapcsolódik hozzá. A további kutatás feladata ezért nem csupán a szenzorok teljesítményének növelése. Legalább ilyen fontos a teljes felderítési lánc – a repüléstervezés, az adatgyűjtés, a feldolgozás, az anomáliarangsorolás, a terepi ellenőrzés és az igazságügyi dokumentálás – egy-egy rendészeti, katonai műszaki és humanitárius aknamentesítési követelmények szerinti validálása.

HIVATKOZOTT IRODALOM JEGYZÉKE

- [1] Daruka Norbert (2018): A jövő háborúi az improvizált robbanószerkezetek alkalmazásának tekintetében. *Sereg Szemle* 16(2), pp. 7–22. Forrás: <https://honvedelem.hu/images/media/5f58bebc52f24724003876.pdf>
- [2] Baur, J. – Lekhak, S. – Steinberg, G. – Nikulin, A. – de Smet, T. – Brinkley, A. – Ientilucci, E. J. – Nitsche, F. – Myers, H. – Elliott, J. – Bauch, T. – Raqueno, N. – Frucci, J. (2026): *A Comparative Evaluation of UAV-Based Remote Sensing and Geophysical Techniques for Landmine Detection on a Seeded Minefield*. *Remote Sensing*, 18. (13), 2182. Forrás: <https://doi.org/10.3390/rs18132182>
- [3] Restás Ágoston (2015): A pilóta nélküli repülőgépek alkalmazása az iparbiztonság területén. *Bolyai Szemle*, 24. (3), pp. 157–174. Forrás: <https://real.mtak.hu/192780/>
- [4] Restás Ágoston (2019): *Path Planning Optimization with Flexible Remote Sensing Application*. In: Zakaria, M. A. – Huang, Y. – Li, B. – Sezer, V. – Abdul Hamid, U. Z. (szerk.): *Path Planning for Autonomous Vehicles – Ensuring Reliable Driverless Navigation and Control Maneuver*. London, IntechOpen, 2019. Forrás: <https://doi.org/10.5772/intechopen.86500>
- [5] Restás Ágoston (2020): Paradigmaváltás a légi tűzoltásban. *Védelem Katasztrófavédelmi Szemle*, 27.(4), pp. 11–14.
- [6] Bodnár László – Restás Ágoston (2018): *Examination of the Forest Fires Detection: The Relationship between the Fire and the Detection*. In: Viegas, D. X. (szerk.): *Advances in Forest Fire Research 2018*. Coimbra, Imprensa da Universidade de Coimbra, 2018, pp. 995–1001. Forrás: https://doi.org/10.14195/978-989-26-16-506_109
- [7] Szalkai István – Vajda András – Restás Ágoston – Óvári Gyula (2018): *A drónok alkalmazásának biztonsági kérdései*. In: Vass Gyula – Mógor Judit – Kovács Gábor – Dobor József – Horváth Hermina (szerk.): *Katasztrófavédelem 2018: Veszélyes tevékenységek biztonsága*. Budapest, BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság, 2018, p. 344.

- [8] Gajdács László – Palik Mátyás – Dudás Zoltán (2021): *Drónok és hagyományos légi járművek közös légtérben történő alkalmazásának repülésbiztonsági kockázatai*. Repüléstudományi Közlemények, 33. (1), pp. 157–170. Forrás: <https://doi.org/10.32560/rk.2021.1.12>
- [9] Kardos Pál (2015): *A polgárőrség helye, szerepe a közbiztonság megőrzésében*. In: Tihanyi Miklós (szerk.): *A rendészeti feladatokat ellátó szervek és a polgárőrség*. Budapest, Nemzeti Közszerzői Egyetem, 2015.
- [10] Lippai Zsolt – Kardos Pál (2021): Bűnmegelőzés és hazafiság. Interjú Túrós András ny. r. altábornaggyal, az Országos Polgárőr Szövetség elnökével. *Magyar Rendészet*, 21. (4), pp. 29–35. Forrás: <https://doi.org/10.32577/mr.2021.4.1>
- [11] Szalkai István (2022): A pilóta nélküli légi járművek alkalmazása kismagasságú multispektrális távérzékelési feladatokban. *Védelem Tudomány*, 7. (3), pp. 64–77. Forrás: <https://ojs.mtak.hu/index.php/vedelemtudomany/article/view/13581>
- [12] NOAA Coastal Services Center: *Remote Sensing for Coastal Management*. Charleston, NOAA Coastal Services Center, 2007.
- [13] Lillesand, T. M. – Kiefer, R. W. – Chipman, J. W. (2015): *Remote Sensing and Image Interpretation*. 7th ed. Hoboken, Wiley, 2015.
- [14] Makki, I. – Younes, R. – Francis, C. – Bianchi, T. – Zucchetti, M. (2017): A survey of landmine detection using hyperspectral imaging. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 124, pp. 40–53. Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.12.009>
- [15] Štroner, M. – Urban, R. – Seidl, J. – Reindl, T. – Brouček, J. (2021): *Photogrammetry Using UAV-Mounted GNSS RTK: Georeferencing Strategies without GCPs*. *Remote Sensing*, 13.(7), 1336. Forrás: <https://doi.org/10.3390/rs13071336>
- [16] Niu, Z. – Xia, H. – Tao, P. – Ke, T. (2024): Accuracy Assessment of UAV Photogrammetry System with RTK Measurements for Direct Georeferencing. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, X-1-2024. (2024), 169–176. o. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-1-2024-169-2024>
- [17] Nguyen, T. T. – Hao, D. N. – Lopez, P. – Cremer, F. – Sahli, H. (2005): *Thermal Infrared Identification of Buried Landmines*. In: *Detection and Remediation Technologies for Mines and Minelike Targets X*. Proceedings of SPIE, 5794. Forrás: <https://doi.org/10.1117/12.626263>
- [18] Nguyen, T. T. – Sahli, H. – Hao, D. N. (2011): *Detection and Characterization of Buried Landmines Using Infrared Thermography*. *Inverse Problems in Science and Engineering*, 19.(3), pp. 281–307. Forrás: <https://doi.org/10.1080/17415977.2011.551829>
- [19] Bishop, M. I. – Truong, V. H. – Bragdon, S. P. – Clausen, J. L. (2024): *Comparing the Thermal Infrared Signatures of Shallow Buried Objects and Disturbed Soil*. ERDC/CRREL TR-24-11. Hanover, U.S. Army Engineer Research and Development Center, 2024. Forrás: <http://dx.doi.org/10.21079/11681/49415>
- [20] Hutsul, T. – Khobzei, M. – Tkach, V. – Krulikovskiy, O. – Moisiuk, O. – Ivashko, V. – Samila, A. (2024): *Review of approaches to the use of unmanned aerial vehicles, remote sensing and geographic information systems in humanitarian demining: Ukrainian case*. *Heliyon*, 10.(7), e29142. Forrás: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29142>
- [21] Popov, M. O. – Stankevich, S. A. – Mosov, S. P. – Titarenko, O. V. – Dugin, S. S. – Golubov, S. I. – Andreiev, A. A. (2022): *Method for Minefields Mapping by Imagery from Unmanned Aerial Vehicle*. *Advances in Military Technology*, 17.(2), pp. 211–229. Forrás: <https://doi.org/10.3849/aimt.01722>
- [22] Baur, J. – Steinberg, G. – Nikulin, A. – Chiu, K. – de Smet, T. S. (2020): *Applying Deep Learning to Automate UAV-Based Detection of Scatterable Landmines*. *Remote Sensing*, 12.(5). 859. Forrás: <https://doi.org/10.3390/rs12050859>

ROBBANTÁSOS KÖZETJÖVESZTÉS ALKALMAZHATÓSÁGA A HÁRMASKÚTI- VÍZNYELŐBARLANGBAN

APPLICABILITY OF BLASTING FOR ROCK REMOVAL IN THE HÁRMASKÚTI WATER ABSORPTION CAVE

TISZA Levente¹ – Dr. VIRÁG Zoltán István²

ÖSSZEGZÉS

A robbantástechnika alkalmazása a barlangkutatásban mindeddig korlátozott maradt, amit elsősorban a szabályozási aggályok, a hozzáférhető módszertani útmutatók hiánya, valamint az a széles körben elterjedt nézet magyaráz, amely szerint a robbanóanyagok használata környezetkárosító és szükségtelen beavatkozást jelent a barlangrendszerekben – mind a kutatók, mind az engedélyező hatóságok részéről. Ez a tanulmány amellel érvel, hogy megfelelő szakértelemmel, szakemberek által, a szükséges feltételek betartása mellett végzett robbantási munka hatékonyabb és kisebb környezeti terheléssel jár, mint a hagyományos mechanikai feltárási módszerek, lehetővé téve a korábban elérhetetlen barlangszakaszok gyorsabb és kevésbé munkaigényes feltárását – amelyek nemzeti természeti örökségünk részét képezik. A tanulmány a robbanóanyagok barlangkutatásban való alkalmazásának történeti áttekintésével és a jelenlegi helyzet értékelésével kezdődik. Ezt követően azonosítja azokat a barlangkutatási célokat, amelyekben a robbantástechnika érdemi előnyt kínál – beleértve a járatokat elzáró képződmények eltávolítását, szűkületek tágítását és üledékkel kitöltött szakaszok feltárását –, külön figyelmet fordítva a barlangkörnyezet sajátos feltételeire és korlátaira. A tanulmány egy valós robbantási művelet részletes, annotált eseteleírását is tartalmazza, amely sablonként szolgálhat jövőbeli barlangkutatási projektek számára; a kiegészítő információk és szakmai magyarázatok külön jegyzetekben szerepelnek az elsődleges dokumentáció integritásának megőrzése érdekében. A munka részét képezi továbbá egy kockázatelemzés, valamint a Bányakapitányság által kiadott elvi engedély sablonja, amelyek segítséget nyújthatnak a kutatótársaknak és a téma iránt érdeklődőknek az engedélyezési eljárás lefolytatásában. Remélhető, hogy ez a munka hozzájárul a robbantási munkával kapcsolatos szemlélet megváltozásához a barlangkutatói közösségben és a hatóságok körében egyaránt, és elősegíti annak elfogadtatását, mint a barlangok felelős feltárásának legitim, szakértő által irányított eszközt. **Kulcsszavak:** Barlangkutatás, speleológia, robbantástechnika, robbanóanyag, barlangfeltárás, kockázatelemzés, engedélyezés.

ABSTRACT

Controlled blasting techniques have long been underutilised in speleological exploration, largely due to regulatory concerns, a lack of accessible methodological guidance, and a widespread perception among both researchers and permitting authorities that explosives represent an environmentally damaging and unnecessary intervention in cave systems. This paper argues that, when applied by qualified professionals under appropriate conditions, blasting can be more efficient and less environmentally disruptive than conventional mechanical excavation methods, enabling faster and less labour-intensive access to previously unreachable

¹ Miskolci Egyetem; robbantástechnikai szakmérnök, E-mail: levcaver@gmail.com; ORCID: 0009-0005-3293-6211.

² Miskolci Egyetem; egyetemi docens. E-mail: zoltan.virag@uni-miskolc.hu; ORCID: 0000-0003-2259-8878.

cave passages that form part of the national natural heritage. The paper begins with a historical overview of the use of explosives in cave exploration and an assessment of the current state of practice. It then identifies the specific speleological objectives for which blasting techniques offer meaningful advantages, including the removal of passage blockages, the widening of constrictions, and the excavation of sediment-filled sections, with particular attention to the special conditions and constraints that characterise cave environments. A detailed, annotated case study of a real blasting operation is presented as a replicable template for future cave exploration projects; supplementary information and technical commentary are provided in separate notes to preserve the integrity of the primary record. The paper further includes risk assessment documentation and a template approval decision issued by the competent mining authority (Bányakapitányság), both intended to assist fellow researchers and practitioners in navigating the permitting process. It is hoped that this work will contribute to changing the perception of controlled blasting among the speleological community and regulatory bodies alike, establishing it as a legitimate, expert-guided tool in the responsible exploration of cave systems.

Keywords: cave exploration, speleology, controlled blasting, explosive techniques, cave passage excavation, risk assessment, permitting

BEVEZETÉS

A Barlangnak nevezik a Föld szilárd kérgében természetes úton kialakult, ember által járható méretű üregeket. A jelentős barlangok mészkőben alakulnak ki, ennek a következő oka van: A tektonikai mozgásoktól igénybe vett merev kőzetek megrepedeznek. Az elméletileg tekintett folytonos vízzáró felszín a repedések mentén megnyílik, és a víz leszivárog a mélybe. A mészkövet oldja a víz, a légköri, vagy a talajból felvett széndioxid segítségével. Sokkal jobban oldja, mint a magmás kőzeteket, amiket gyakorlatilag tekinthetünk oldhatatlannak, de nem annyira oldja, mint a kősót vagy a gipszet, ezért nem öblíti le a víz a teljes felszínt. A barlangok kialakulásában döntő szerepe van a keveredési korrózióknak. Az elméletet Alfred Bögli svájci barlangkutató geomorfológus dolgozta ki, és bizonyította be 1963-ban. Lényege, hogy a hegy mélyében a karsztvízszinten, a különböző töménységű önmagukban már telített oldatok összekeveredve ismét oldóképesek lesznek. [1] Így az üregesedés nem a felszín felől, hanem a karsztvízszinten a felszíntől zártan folyik. Ugyanakkor a mészkő kellően szilárd ahhoz, hogy a kialakult üregek hosszú időn keresztül megmaradjanak. Ez szerencsés esetben több tízmillió év is lehet. Magyarországon a barlangok nemzeti kincseink, melyeket a törvény ex-ledge véd. Ezt a vagyont nem lehet az ásványi nyersanyagokhoz hasonlóan geofizikai vagy egyéb módszerekkel kutatni, feltérképezni. Számos barlang léte indirekt bizonyított, (pl. víznyom jelzéssel), sokról semmi információnk nincs. Egyelőre csak hagyományosan kétkezi munkával lehet bejutni a feltételezett üregekbe. Maga az, hogy mekkora értéket képvisel a barlang tehát már csak a feltárás, és tudományos vizsgálat után derül ki.

A feltáró barlangkutatás leginkább a polgári mélyépítésre, a katonai utász munkára és a bányászati mélyművelésre hasonlít. A feladat a biztonságos munkavégzés és közlekedés kialakítása a sötét, olykor szűk, vizes, illetve mély járatokban. A munkavégzés célja az új barlang, barlangszakasz feltárása a járható méretű kialakult üregeket eltömő kitöltések eltávolításával, vagy a járhatatlan méretűre kialakult üregek bővítésével. A barlangkutatási technikák is a fent említett szakmákból származnak, azok között is a bányászaté az elsőség. A hasonló feladatok hasonló megoldásokat szülnek, így sok barlang kutatása leginkább egy középkori ércbányához hasonlít. A feladatok hasonlósága miatt a barlangkutatók

végeznek munkát bányák, pincék, kutak, csatornák, erődítések újrafeltárásán, illetve biztosításán is.

A robbantásos technológiák jelen lehetnek a védendő barlangok környezetében, ami fokozott odafigyelést igényel. [2] Ennek a technológiának az alkalmazása visszafordíthatatlanul károsíthatja azokat a természeti értékeket, amik évmilliók alatt keletkeztek.

A BARLANGKUTATÁS RÖVID TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉSE AZ ALKALMAZOTT TECHNOLÓGIÁK SZEMPONTJÁBÓL

Barlangkutatás alatt minden a barlangokkal kapcsolatos adat, következtetés megszerzését értjük általában. A feltáró barlangkutatást úgy értelmezem, mint a be nem járható, de elméleti úton feltételezett barlangokba, barlang járatokba való bejutás érdekében végzett műszaki beavatkozással járó tervszerű emberi munkát. A barlangkutatás kezdeti idejében, a kutatók többnyire csak a bejárásra összpontosítottak. A technika alacsonyabb színvonal mellett, gyakran a szabad járatok bejárása a természetes akadályok leküzdése is komoly feladat volt. Ne becsljük azonban le elődjünket! Hiszen régészeti leletek bizonyítják, hogy már az őskorban is akár több kilométer távolságot megtettek az emberek a föld alatt. Ez az időszak Magyarországon az őskortól a barokk korig tartott. A feltáró barlangkutatás mozgató ereje az esetek nagy részében gazdasági jellegű, volt, elvértve turisztikai, esetleg tudományos okokból is történt. A régebbi korok emberei ugyanis használták a barlangot, valamilyen célra. Mikor ez a cél nem valósult meg kielégítően, vagy más helyen is kívánták alkalmazni, tudatosan kerestek és alakítottak barlangokat. Legjellemzőbb példa a vízhasználat. A karszt forrásokból fakadó víz erejével sok helyen malmokat hajtottak meg, de ezek ingadozó éves vízjárása eredményeként nem mindig volt elég a vízhozam. A gazdaságilag rászoruló molnárok voltak az első barlangkutatók, akik a víz útját követték. Ők persze inkább a vizet kutatták, nem a barlangot.

A száraz, és kopár trieszti fennsíkon is a vizet keresték, mivel megsejtették az azóta bizonyított tényt, hogy a Reka folyó Skociane barlangban eltűnő vize valahol a mészkőfennsík alatt folyik, és torkollik a tengerbe. A trieszti kutatás egy epizódját részletesen is leírom, mivel a robbantás is szerepet kapott benne. Trieszt gyorsan fejlődő város volt az Osztrák–Magyar Monarchia idején, és a városi vízellátás nem tudott lépést tartani a lakosság növekedésével. Kézenfekvő lehetőség volt a föld alatt a folyót megkeresni a város feletti fennsík rengeteg barlangjának egyikének a mélyén. Sajnos azonban ezt nem könnyítette meg a természet, feneketlen mélységeket kellett leküzdeni, és volt, hogy a mélység alapján már nem volt messze a tengerszint, ám a járat véget ért egy függőleges kútszerű járatban.

1861-ben hasonló okból kezdték vizsgálni a Trieszttől három kilométernyire emelkedő Monte Spaccato egyik névtelen zsombolyát. Zsombolynak a kútszerű, főleg függőleges kiterjedésű barlangokat nevezzük.

Veszélyes munka árán 264 méter mélységig feltárták a barlangot, a mélységet falétrákkal küzdötték le, de végül egy szűkület elzárta a kutatók további útját. Oly sok munka után nem akartak belenyugodni a kudarcba. A siker érdekében utolsó esélyként robbantással próbálkoztak, mely sajnos tragikus véget ért. A barlang legmélyebb pontjára több száz kilogramm lőport helyeztek el, a továbbjutással kecsegtető szűkület előtt felhalmozva.

Az itt elhelyezett 200 kg lőport a felszínről elektromos gyújtással robbantották, de a robbanás hangját nem hallották meg. Ekkor hárman leszálltak a zsombolyba, hogy új robbantást készítsenek elő, de többé nem tértek vissza. Nyolc nappal később az egyik kutató fia szállt le, hogy apja holttestét a felszínre hozza, de ő sem tért többé vissza. A további kutatásokat a szerencsétlenség miatt beszüntették, a nyílást elzárták és a barlangnak az *Abisso Morto*, a *Halál-zsomboly* nevet adták, majd a barlang feledésbe merült. Huszonnyolc évvel később egy trieszti turistaegyesület tagjai újból leszálltak a zsombolyba. 80 méter mélységben megtalálták a fiatalember, 190 méter mélységben pedig a három másik kutató csontvázát. Az eset megrázta a korabeli közéletet. Abban az időben is ismert volt már a bányászok körében a szellőztetés és a füstre várás fontossága, de sajnos a kutatók közt senki sem ismerte. A légcseré nélküli kútszerű barlangban megrekedt a lőpor égésterméke. A CO szintelen szagtalan mérgező gáz, leblokkolja a hemoglobinok oxigénmegkötő képességét, és nagyon gyors eszméletvesztéshez, majd halálhoz vezet.

Külön sajnálatos, hogy a fal mellett elrobbantott lőpor semmilyen hatással nem volt a sziklára, nem találták meg a hőn áhított folyót. Évekkel később sikerült csak elérni a föld alatti Reka folyót, de a nagy mélység miatt olyan gondot okozott volna a víz felemelése, hogy inkább megoldották felszíni távvezetékekkel a város vízellátását. [3]

Az első világháború idején az olasz fronton a hadműveletek részben magas hegységi, részben középhegységi terepen zajlottak. Ezek anyaga mészkő, dolomit, mely barlangok kialakulásánál lényeges feltétel. Mivel a haditechnika fejlődése megelőzte a hadvezetés taktikai fejlettségét, a frontvonalak megmerevedtek, állóháború alakult ki. A hadseregek utászalakulataira fontos szerep hárult a harcállások kialakításánál, az utánpótlás, ellátás biztosításánál, és az aknaharcnál. A mesterségesen kialakított fedezékek mellett kihasználták a természet alkotta üregeket is, céljuknak megfelelően alakítva azokat. Hatalmas munkával, az Osztrák–Magyar Monarchia teljesítőképességének teljes kihasználásával vetették be az erőforrásokat. A kézi fúrás mellett már gépi fúróberendezéseket is alkalmaztak a robbantólukak elkészítéséhez. A szakemberek kiképzéséhez a mai Magyarország területén több helyen létesítettek tanuló vágatokat, aknákat, amelyeket máig látogathatunk, tanulmányozhatunk.

Az első világháború idején az olasz és a szerb frontokon több katonai fúróegységet igényeltek, és kaptak is a harcoló magyar csapatok a hegyvidéki utászati munkákhoz. Ezek az állások sziklában való kialakításához, illetve barlangokban való álláskialakítási munkákhoz kellettek. Ekkor lehetett barlangi fúrómunka az Osztrák–Magyar Monarchia területén (Nagy-Magyarország) területén, de ennek pontos helyszíne további kutatást igényel.

Idézet prof. dr. Lukács László – dr. Balogh Zsuzsanna: *Bányászok és a háborúk – A földalatti aknaharc az ókortól napjainkig*; Szimpózium kiadvány, Magyar Robbantástechnikai Egyesület, 2022 Velence. A nagy háború magyar haderejének aknaharcra való technikai felkészületlenségéről Altóray Szaniszló, a világháborúban a kőfúró tan- és pótzászlóalj parancsnoka ezt írta Jacobi könyvében. [4]

„A katonai iskolákban, a harcászatban és a katonai földrajzban valamikor azt tanultuk, hogy a mocsarakban és magas hegységekben harcolni nem lehet. E tan is tévesnek bizonyult, mert harcoltunk a jó Isten közvetlen közelében, 3000-4000 méter magas háborította sziklákon, harcoltunk mocsarakban, vízen és víz alatt, a levegőben és mindenütt, ahova a parancs és szükség bennünket állított. És ki

gondolta volna, hogy sziklafúró csapatokra és gépi szerelvényekre is lesz valamikor szükségünk, ki gondolta volna, hogy több mint 30.000 ember és közel 500 kőfúró szerelvény töri majd a kemény sziklákat Flandriától a Szent Földig, a Kárpátoktól és Alpeseektől a görög és albán tengerig, hogy életet jelentő óvóhelyeket teremtsen a hősieken küzdő gyalogos vitézeknek. [...] De különösen az olasz hadüzenet után a karsztos és sziklás terepen folyó háború szorgalmazta a kőfúró alakulatok minél gyorsabb megszervezését és felállítását. 1915-16 telén, az isonzói fronton már közel 100.000 kézi kőfúró készlet volt használatban. Kézi eszközökkel a munka mégis csak lassan haladt és igen fáradságos volt és ezért mind hangosabb lett a front követelése gépi berendezések után. A harcoló gyalogos- és műszaki csapatok sürgető igényléseinek eleget téve alakult meg 1915 őszén Bécsben a műszaki katonai bizottság kötelékében a kőfúró tanoszttag, mely eredetileg 1 tényleges tisztből, 14 tartalékos tisztből, 4 mérnökből és kb. 140 fő legénységből állott. Ez az alakulat gyűjtötte össze a hátszág bányavidékein lévő és valahogy csak nélkülözhető, vagy gyárakban és kereskedőknél raktáron levő kőfúró célokra szerkesztett alkalmas gépeket, felállította a szintén sürgősen összetoborzott szakszeméllyel (gépészek, bányászok stb.) az első kőfúró osztagokat, melyek 1916-ban kora tavasszal először érkeztek a frontra. [...] A készlet gyorsan kifogyott gépekben is, mert a volt Monarchiában alig volt gyár, amely ily gépek előállításával foglalkozott; kiderült az is, hogy a békebeli, bányaüzemek részére készült nagy gépek a szállítási és felállítási nehézségek miatt a harctéren nem felelnek meg. Tehát könnyebb súlyú és a harctéri követelményeknek megfelelő gépeket kellett tervezni és azoknak tömeges gyártását a hátszágban megszervezni. [...] Megszerkesztettük az új, egyre tökéletesebb típusokat, kipróbáltuk azokat s megszerveztük az egységeket. Ezzel párhuzamosan megindult a kiképzés és a kiképzés anyagának összeállítása: leírások, tankönyvek, utasítások szerkesztése, továbbá kísérleti helyek és gyakorlóterek berendezése. [...] A kőfúró tan- és pótzászlóalj állomány nyilvántartásában a háború végén volt: 3 tényleges műszaki tisz, 140 tartalékos és népfelkelő tisz, 40 mérnök és kb. 32.000 fő (műmester, altiszt és legénység). És ez a 32.000 ember – zömük magyar – dolgozott hangyaszorgalommal, önfeláldozóan és kötelességtudóan a flandriai és francia fronton, az olasz Karsztban, a Dolomitok és Dél-tirol havasain, Erdélyország határbercein, Montenegróban, Albániában, a görög határon, Bulgáriában, a Dardanellákban, Mezopotámiában. [...] Egy 1918-ban készült statisztika a kőfúró alakulatok működési helyét a következőkben mutatja ki: 65% az olasz fronton, 15% a szerb-albán-bolgár fronton, 12% az oláh-orosz fronton, 8% Törökországban és a francia fronton. Ahol csak kopár hegyek emelkednek, ahol sziklás terek húzódnak és amiatt a gyalogos harcos százszorosan szenved, ott találjuk a fáradhatatlanul dolgozó kőfúróosztagokat is. Itt lövészárkok kirobantása, összekötő és futó árkok kimélyítése, ott óvóhelyek (kavernák), alagutak, aknatárnák és aknautak robbantással való kivájása, a vízellátáshoz szükséges kutak fúrása, sziklás talajban természetes barlangok feltárása és bontása harcászati célokra, utak robbantása mind olyan verejtékes munkák, amelyek nélkül megáll az élet. [...] De emlékezzünk meg végül a magyar iparról és a magyar gyárról, melyeknek mérnökei és munkásai nagy leleményességgel és pontos munkával tették a tervek megvalósítását lehetővé. 67 különböző magyar, osztrák és

német gyár gyártotta a különböző gépeket, illetve motorokat és ahány gyár, anynyiféle került a kőfúró osztagok felszerelésébe. A magyar gyárak közül említendők: Ganz-Danubius, Első Magyar Gazdasági Gépgyár, MÁVAG., Szombathelyi Gépgyár, Rába, Hofherr-Schrantz, Siemens-Schuckert, Teudloff-Dietrich, Ganz és Tsa., Martos és Hercz, Ajax és Fonó Miklós.” [4]

A háború és a békekötés után a megcsonkított országban új erőre kapott a turistamozgalom és azon belül a barlangkutatás is. Ekkor a tudományos kutatás főleg a barlangokban lévő régészeti leletek feltárásából állt, a turistamozgalom pedig a barlangok bejárására irányult. A korszak kiemelkedő alakja Kessler Hubert mérnök, földrajz, földtan, őslénytan tárgyakkal okleveles tudós, karszthidrológus. Kessler 1927-től bejárta Magyarország barlangjait, majd érdeklődése a barlangok kutatására irányult. Jó szervezőképessége, valamint már a második világháború előtt megalapozott szakmai tekintélye segítségével a szocialista Magyarország vezető barlangkutatója lett. Számos munkája során alkalmazott robbantástechnikát, olykor ipari méretekben is.

Bár a sűrített levegős fúrógépek már rendelkezésre álltak, nehézkességük és a szűk barlangi helyszínek miatt inkább a rátett tölteteket alkalmazták. Természetesen mérsékelt sikerrel. Az 1960–80-as években Kesslernek sikerült elérnie néhány barlang esetében a kutatás-kiépítés támogatását, amit a korban még működő bányák szakemberei műveltek hivatásos munkával.

A nagy ellenállással szemben Kesslernek minden tekintélyét latba kellett vetnie, mint azt jól példázza a Szemlőhegyi barlang feltárása. 1972-ben a BÁTI (Bányászati Tervező Intézet) és a BAV (Bányászati Aknamélyítő Vállalat) elkészítette a feltárási koncepciót és a technológiai tervet, amit szakhatósági engedélyeztetés is követett. 1974-ben 50 m mélységű, 3,8 m belső átmérőjű aknát hajtottak a felszínről a barlang felmért járata mellé. A robbantásos aknamélyítés környezeti hatásait a BKI (Bányászati Kutató Intézet) és a NMB (Nehézipari Műszaki Egyetem Bányamérnöki Kar) Bányaművelési Tanszéke ellenőrizte. Az akna 1975-re terv szerint elkészült, de egy közeli befolyásos lakos közbenjárása miatt a feltárást újra kellett kezdeni egy 60 méter hosszúságú lejtős aknával. Újabb lakossági tiltakozások miatt a végleges átadásra 1986-ig kellett várni. [5]

Hivatásos barlangkutatók azonban nem voltak, és most sincsenek. A szabadidős tevékenységek elterjedése a jóléti társadalom kialakulásával vette kezdetét a 19. század végén, a 20. század derekán. Hazánkban az 1970-es évektől sorra alakultak az amatőr barlangjáró-barlangkutató csoportok, ezek lelkes tagjainak köszönhetjük a legtöbb barlang feltárását. A tagok között voltak szakemberek, bányászok, geológusok, de többségében inkább érdeklődő laikusok.

Megemlítem még Szenthe István okleveles geológust, barlangkutatót, aki az 1970-évek-től aktívan kutat, oktat. Ausztriai munkalehetőséggel élve tapasztalatot szerzett az alagúthajtás terén, és járta az üzemelő szén- és ércbányákat. Vezetésével több mintaszerű barlangfeltárás történt, elvei megalapozták a modern feltáró barlangkutatás iskoláját.

Az önkéntes munka miatt az erőforrások korlátozottak, ezért kap nagy hangsúlyt a hatékonyság. Az elektromos fúrókalapácsok használata nagy változást hozott a kutatásban. Az 1990-ben jelent meg az SDS max tokmány. Ez és a korábban piacra dobott SDS+ tokmány forradalmasította a fúrástechnikát. Mindkettőt a Bosch cég vezette be, és azóta iparági szabvánnyá vált.

A 230 V-os fúrógépek elterjedt, sokat használt eszközök a barlangkutatásban. Bár hálózati elektromos áram ritkán kerül kiépítésre a barlangok közelében, az évtizedtől kezdődően a magyar piacon is megjelenő kis méretű 230 V-os áramfejlesztők, a hordozható aggregátorok elérhetőségével vált lehetővé elterjedésük. A barlangi fúrástechnika végre utol kezdi érni a bányászati, ipari technikát.

A rendszerváltás azonban nagy változást hozott a barlangkutatásban is: a hazai bányákat sorra bezárták, a robbantómesterek és az általuk hozzáadott technológiai ismeretek a robbanóanyagokkal együtt eltűntek. Így, amikor már lehetett volna hatékonyan megfelelő furatokba töltve robbantani, akkor már nem volt mivel. A barlangkutató csoportok a határok megnyílásával a külföldi barlangok expedíciószerű bejárásaival kötötték le energiájukat, a csoportok átalakultak, és a feltáró kutatás helyett inkább a túra- és sporttevékenység lett a fő foglalatosságuk.

A barlangkutatás társadalmi alapja, utánpótlása egyre jobban erodálódik. A maréknyi fanatikusan embernek jó lenne az erőforrások optimális kihasználása, ha eredményeket kívánnak elérni. Eredmények nélkül pedig nincsen médiamegjelenés, és kevés emberhez jut el ez a fizikai és szellemi kihívásokkal nehezített, szociális közösséghez tartozást építő tevékenység, amire korunkban igen nagy szükség lenne. [6]

A BARLANGKUTATÁS TECHNOLÓGIÁI KORUNKBAN

Napjainkra sokat fejlődött a barlangkutatók eszköztára. A mélységeket 8–11 mm átmérőjű poliamid-poliészter anyagú kötelekkel, és az ezekhez kifejlesztett mászó-ereszkedő gépekkel küzdik le. Így egy ember kb. 100 méter kötelet is könnyen tud szállítani. A világításra szinte kizárólag nagy teljesítményű akkus ledes lámpákat használnak. Mára szinte egyeduralkodóvá váltak a kötél és egyéb rögzítési furatok kialakításában az akkumulátoros fúrógépek. A mai csúcskategóriás gépekkel a robbantólyukak készítése is lehetővé vált, és a jövőben várható az akkumulátortechnológia fejlődésével a nagy teljesítményű akkus fúrókalapácsok széles körű elterjedése. Szintén sokat javított a teljesítményen a kefe nélküli motorok alkalmazása az utóbbi években. Előnyük az egyszerű működés, gyors munkavégzés, könnyű szállíthatóság. Barlangban a bejárattól korlátlan távolságban is használhatók.

A járat tágítására szilárd kőben a pirotechnikai patronok használata terjedt el leginkább. A 0,2–0,3 gramm füst nélküli lőpor töltetű patronok 8 mm átmérőjűek, talpukon peremgyújtásos kialakításúak. A gyújtást ólom-azid végzi. A technika előnye a mobilitás, mivel a felszíntől távol sem igényel semmilyen vezetékképzést. A 8-9 mm lyukak fúrása az akkumulátoros gépekkel nem okoz problémát. A gond az indítással, és a munkavégző képességgel van. Az indítás vagy a fúrógéppel való ráfúrás, illetve ütőszárral kalapácsal történő ráütés. Ettől jogosan irtózik minden, a robbantástechnikában kicsit is jártas, illetve józan ítélőképességű ember. A másik a kis munkavégző képesség. Repedezett kőzetben az égési gázok kiszöknek, részben az indítás miatt is, mivel nem lehet a lyukat folytatni. Szerencsés esetben kb. 5 liternyi kőzetdarabot lehet leválasztani a falról egy lyuk/patron használatával.

Fontos megjegyezni, hogy ezek a patronok szögbelővő gépek meghajtására szolgálnak, az ilyen fajta körépesztés nem rendeltetésszerű felhasználás, amitől a gyártó cég teljesen el is határolta magát.



1. ábra. Barlangi környezetben használt fúrógép (a szerzők felvétele)

1. táblázat. Pirotechnikai anyagok főbb tulajdonságai

Anyag típusa	Gáztérfogat (l/kg)	Detonációsebesség (m/s)	Kritikus átmérő (mm)	Jellemző hatás
Feketelőpor	280–300	400–600 (égés)	Nincs Réteghatár	Lassú feszítés, nagy tömbök, zúzás nélkül. Kevés lehet az ereje a betöréshez.
Füst nélküli lőpor	800–900	600–1200 (égés)	40 mm	Kiváló feszítőerő, minimális murva. Erős tolóhatás, nagy blokkok

A BARLANGKUTATÁS SEGÍTÉSE ROBBANTÁSTECHNOLÓGIÁVAL

Mivel a barlangkutatásnál a fő cél a sziklaszűkületek kitágítása, több technológia is alkalmazható.

Általában nem cél a jövesztett halmaz aprítása, célszerűbb a vízépítési kő méret leválasztása. Ez a méret, jellemzően 200–400 mm, kézzel kényelmesen rakodható és felhasználható a barlangban elterjedten alkalmazott szárazon rakott kőfalak építéséhez. Ezt az igényt már a furatok elrendezésénél is figyelembe kell venni. Két irányzat kínálja magát: az egyik a pirotechnikai eszközök használata, a másik a robbanóanyagok használata.

Kísérleti tapasztalatok szerint repedezett kőben nem elég hatékonyak a pirotechnikai anyagok, kifújnak a repedéseken, kilökik a nem megfelelő fojtást. A robbanóanyagok szilárd, homogén és repedezett kőzetek esetén is jól alkalmazhatók. A robbanóanyagok alkalmazása rugalmas technológiát tesz lehetővé. Különböző robbanóanyagok használatával sok feladatot optimalizálhatunk. Használatuk hátránya a vásárlásukhoz, szállításukhoz és felhasználásukhoz szükséges engedélyek és jogosultságok szigorúbb feltételekhez kötött megszerzése.

Ez azonban senkit ne riasszon vissza a robbantások tervezésétől! Találunk még olyan szakembereket, akik rendelkeznek engedéllyel, jogosultsággal és szívesen segítenek. Ne habozzon senki segítséget kérni, hiszen a robbantás rendkívül hatékonyan alkalmazható

2. táblázat. Robbanóanyagok főbb tulajdonságai

Anyag típusa	Gáztérfogat (l/kg)	Detonációsebesség (m/s)	Kritikus átmérő (mm)	Jellemző hatás
ANFO (Pétisó + olaj)	900–1000	2500–3500	25–100 mm	Nagyon jó repesztés, de 32 mm-ben gyakori a befulladás.
Emulziós (pl. Emulex 2)	845	4500–5400	30–65 mm	Túl agresszív. Sok por (murva) keletkezik.
Plasztik/dinamit	800–900	7000+	2–10 mm	Rendkívül brizáns. Rideg töréseket okoz, a kőtömbök sokszor tovább repednek a jövesztés után. Durva zúzás, sok por (murva).
Robbanózsínór	~800–900	6500–7000	2–4 mm	Stabil detonáció vékony szálban is.
HPFO (H ₂ O ₂ +olaj)	~1000–1100	3000–5000	40–80 mm	Erős gáznyomásos repesztés, de bizonytalan indítás 32 mm-es furatban, instabil.
TATP (Peroxid)	~750–850	5000–5300	5–10 mm	Kontrollálhatatlan zúzás. Gyors detonációja miatt szilánkosra töri a mészkövet. Rendkívül veszélyes.
Kugyela-féle TKR	~900–1000	3500–4500	30–50 mm	Nagy tolóerő. A nagy gáztérfogat mélyen behatol a repedésekbe, hatékonyan dobja ki a nagy blokkokat, biztonságos.

a barlangi szűkületek tágitásában. Azonban nem véletlenül ilyen szigorúan szabályozott. Jelentős kárt és emberéletet követelhet a hozzá nem értés. Amellett, hogy törvény szerint tilos és büntetendő a jogosulatlan alkalmazása, mindenkit arra kérek, a saját érdekében, ne használjon illegális anyagokat. Sokszor a hozzá nem értés, az információ hiánya miatt a nem szakszerű felhasználók nem is érzékelik, milyen veszélyeknek teszik ki magukat és társaikat. Szerencsére hazánkban még nem volt példa súlyosabb balesetre robbanóanyagok használata miatt a barlangkutatásban. Szeretném, ha a továbbiakban ez így maradna, és a szerencse mellett a dolgozatom is hozzásegítene.

BARLANGFELTÁRÁS: VÁRHATÓ EREDMÉNYEK

Először pár szóban magának a barlangkutatás eredményeiről. A barlangok feltárásának haszna általánosan a megismerésükben van. Napjainkban a Föld minden szeglete műholdakról vizsgálható, távérzékeléssel felmérhető. Új csak a föld alatt lehet, ahová egyelőre csak hagyományosan kutatva lehet bejutni, és a helyszínen lehet csak felmérni. A felmérések gazdagítják tudásunkat az adott területről, segítenek megérteni a geológiai, hidrológiai viszonyokat. A megszerzett tudás gazdasági hasznosítás alapja lehet, pl. ivóvízbázis, vízenergia, hőenergia, vagy éppen a társadalmi igényeket elégítheti ki, mint bemutatott barlang vagy gyógybarlang. [6]

Most lássuk a robbanóanyagok használatának eredményét a feltáró barlangkutatásban. Csak a legfontosabb eredmények leírására szorítkozom, hiszen az egyes feladatok változó egyedi szempontjai miatt az elérhető eredmények igen szerteágazók lehetnek.

Meghatározhatjuk a lerobbantott anyag szemcseméretét, mint a felszíni kőbányaszatban. Ezt a robbanóanyag megválasztásával és a töltés kialakításával lehet elérni. Alkalmazhatunk méret alatti tölteteket, inert közbetéteket. Bár esetünkben a kitermelt anyag szintiszta meddő, hiszen a „haszonanyag” csak a szabadon járható tér, a meddő másodlagos felhasználásával a más kapcsolódó munkák alapanyaga lehet.

Vízálló robbanóanyagok használatával képesek vagyunk átázott környezetben, víz alatt is dolgozni. Jelen időben nincs más technológia a víz alatti szűkületek tágításához.

Minimalizálhatjuk a szeizmikus hatásokat védendő természeti képződmények közelsége esetén. Nagy robbanási sebességű anyagokat használva elhangolhatjuk a robbantás frekvenciáját, így kisebb lesz a barlangra háruló szeizmikus hatás. Ennek magyarázata, hogy ha pl. 0-2 m körzetben a várható frekvencia 200 Hz, ennél a megengedett rezgési sebesség 3,5-ös szorzóval emelhető, így a robbantástól 2 m-nél távolabb már lecsillapodik a sebesség 2 mm/s alá.

Elkerülhetjük a karsztvíz nitrátszennyezését. Választhatjuk a nitrátot nem tartalmazó hidrogén-peroxidos robbanóanyagokat. Ezek alkalmazásával a hagyományos anyagok robbantási gázaiban található mérgező gázok is elkerülhetők.

Kőzetkímélő robbantással a kialakított barlangfalakat biztonságosabbá tehetjük. Kontúrozó furatok és perforáló töltetek használatával a barlang maradó falára ható repedéseket minimalizálhatjuk, elkerülve a későbbi omlások, leválások kialakulását.

A közetjövésztés idő- és munkaerőigényét csökkenthetjük. Nem kell szükségszerű engedményeket tenni a közlekedés, munkavégzés biztonsága ellenében a járatok keresztmetszetének kialakításakor.

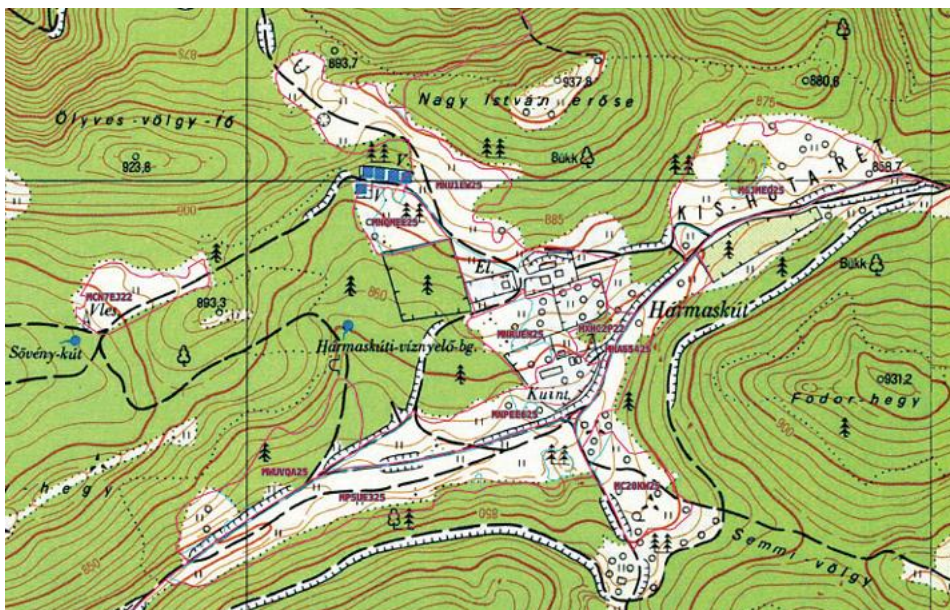
A távolról indítással a robbantást, fejtést biztonságosabbá tehetjük. Főte veszélytelenítése, omladékokban provokáló robbantás végezhető biztonságosan.

A HÁRMASKÚTI-VÍZNYELŐBARLANG BEMUTATÁSA

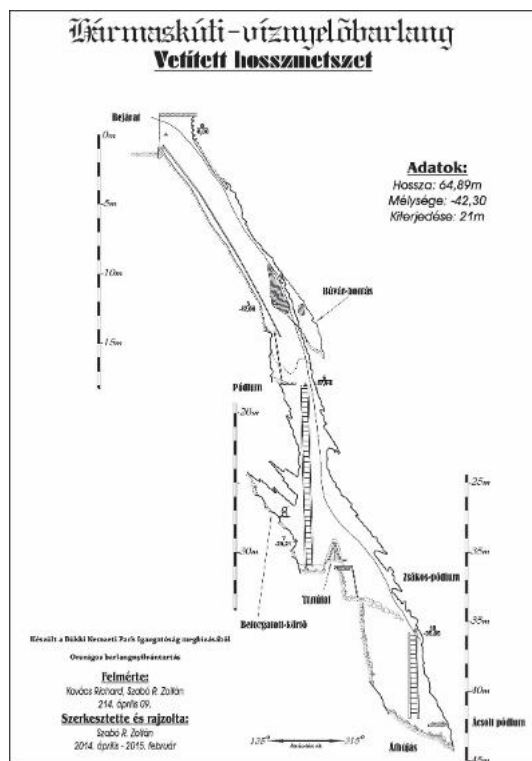
A barlang Magyarország egyik legjelentősebb karsztvidékén, a Bükk hegységben található. A hegység északnyugati részén a kb. 800 méter magas Nagy-Fennsík peremének déli lejtőjén, a hármaskúti erdészház közelében fakad egy kis vízhozamú forrás. A Bükk-fennsík felszíni vizekben igen szegény, és ahol mégis van, azt az erdőjáró emberek évszázadok óta kihasználják.

A Nagy István erőse és az Ölyves-völgy fő oldalában összegyűlő szivárgó vizek az erdészház felett foglalva vannak. A repedezett mészkő fennsíkon az teszi lehetővé a vízforrásként felszínre lépését, hogy egy vízzáró metaandezit (kvarcporfirrit) fedőközetszórvány található kis területen. Ahol ez a kőzet már nem borítja a mészkövet, a felszíni vízfolyás egyből utat talált magának a mészkő mélyébe. Ez a víznyelő a Hármaskúti-víznyelőbarlang, amely napjainkban időszakosan aktív, vízvezető. A barlang elhelyezkedését a 2. ábra mutatja be, a barlang vetített hosszmetsetét a 3. ábra szemlélteti. A barlang tengerszint feletti magassága 845 mBf. Kataszteri száma: 5332-15, nyilvántartott hossza 90 méter, mélysége 80 méter. EOv koordináták: 755132,5; 305733,66.

A település Nagyvísnó, megkülönböztetetten védett barlang, a Bükki NP Igazgatóság hatáskörében. Víznyom jelzéssel bebizonyosodott, hogy az elnyelődő víz a szilvásvárad-i Szalajka forrásban lát ismét napvilágot. Mivel a forrás 460 mBf. magasságban fakad,



2. ábra. A barlang elhelyezkedése topográfiai térképen (Forrás: mepar.mvh.allamkincstar.gov.hu)



3. ábra. A Hármaskúti víznyelő jelenlegi állapota (Forrás: www.termeszetvedelem.hu)

a magasságkülönbség a barlang bejárata és bizonyos végpontja között 385 m, a két pont vízszintes vetületi távolsága 3620 m. Ezek alapján egy országosan kiemelkedő hosszúságú, és mélységű barlang feltételezhető.

EGY KONKRÉT KUTATÁSI TERV – ESETLEÍRÁS

A Hármaskúti-víznyelőbarlang jelen állapotát a 4. ábra szemlélteti. A –45 méternél kötörmelékkal kitöltött. A korábbi feltárások során a –35 m-től a beépített 6 m magas faácsolat tönkrement, a mögötte lévő kötörmelék és agyag besúvadt a továbbvezető mélyebb járatba. A tervezett állapot: az akna szelvényének feltágítása a biztonságos munkavégzést lehetővé tevő méretre, robbantásos kőzetjövésztesssel, és a kitöltés kitermelése a feltételezett szabadon járható járatokig.

Technológiai sorrendje a robbantásos járattágításnak

Az alkalmazott technológiai sorrend: (1) munkaterület kialakítása, (2) kitűzés, (3) pontra állás és fúrás, (4) furattisztítás, robbantóanyag betöltése, fojtás, (5) kötözés és robbantás, (6) a robbantási munka ellenőrzése és munkahely feltárása, (7) utómunkálatok, (8) a le-robbantott kőanyag kitermelése.

Betörési számítás (Langefors-módszer)

A szűk hely és a meglévő szabad felület miatt párhuzamos betörést kell alkalmazni. A legelterjedtebb számítási mód a Langefors-féle svéd módszer. Az üres furat egyenértékű átmérője, $D_e = d\sqrt{n}$, ahol d az üres furatok átmérője és n a számuk. Az első töltött furatok



4. ábra. A Hármaskúti-víznyelőbarlang bejárata (Forrás: természetvedelem.hu)

távolsága: $B_1 = 1,5 - 1,7 \cdot De$. A bővítő koszorúk távolsága: $Bn = W\sqrt{2}$, ahol W a már kirobantott üreg szélessége. A töltött furat átmérője párhuzamos betörésnél a szabad tér $1/3-1/4$ -e (pl. 100 mm központi üreghöz a 25 mm-es furat optimális).

Alkalmazott robbanóanyag és gyutacs

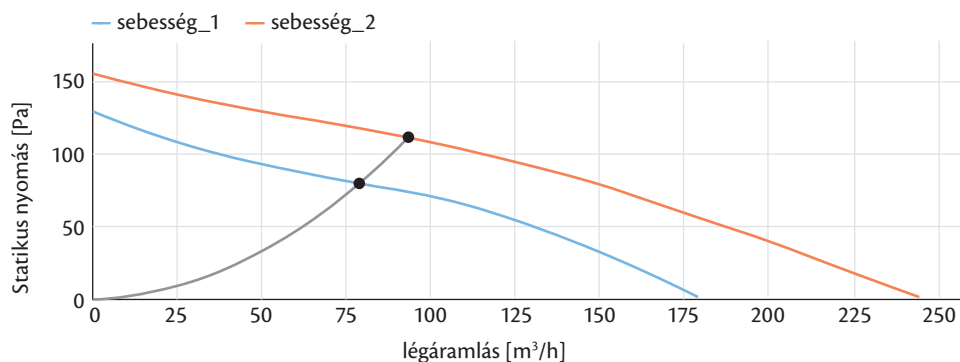
A választott robbanóanyag a méret alatti tokozott Kugyela-féle TKR töltet (22 mm külső átmérőjű műanyag csőben töltényezve, belső átmérő 20 mm). Főbb adatai: sűrűség $1,29 \text{ g/cm}^3$, robbantási sebesség 5500 m/s ($\varnothing 18 \text{ mm}$ -nél), gáztérfogat $900-1000 \text{ l/kg}$, energia $3500-3800 \text{ kJ/kg}$, robbantási hőmérséklet $2400-2800 \text{ }^\circ\text{C}$, eltarthatóság 6 hónap (Kugyela, 2023–2024). A robbantás fordított indítással történik. Az alkalmazott gyutacs TED elektromos sorozat, $0-500 \text{ ms}$ között választható késleltetéssel (MS 0–MS 20). [7][8]

Szellőztetés és füstre várási idő

A barlang légcsereszámítása alapján (barlangátmérő 3 m , mélység 40 m , térfogat $282,6 \text{ m}^3$) a kijelölt – az 5. ábrán szemléltetett jelleggörbéjű – ventilátorrend – Vents TT 100 PRO, 100 mm átmérőjű axiális csőventilátor, $150 \text{ m}^3/\text{óra}$ légszállítással – mellett a teljes légcserre ideje kb. 2 óra . A 40 m -es PVC csővezeték nyomásvesztése a Darcy–Weisbach-egyenlettel számítva kb. $62,8 \text{ Pa}$, amelyet a kiválasztott ventilátor tud győzni. Gépi szellőztetéssel a füstre várási idő 4 óra ; anélkül legalább 24 óra és leszálláskor kötelező a légtér ellenőrzése. A robbantási gázok közül különös figyelmet igényelnek a levegőnél nehezebb (NO_2 , CO_2 , N_2O , H_2S), amelyek az alulról zárt mélyedésekben felgyűlhetnek. [9]

Szeizmikus hatás ellenőrzése

A töltetek 15 m -nél mélyebben helyezkedtek el: az ÁRBSZ 4. melléklet II. pontja alapján az ellenőrző feltétel: $\sqrt{(Qf)/l} \leq 0,025$. A mértékadó töltet $Qf = 0,5 \text{ kg} \times 2 = 1,0 \text{ kg}$, a védendő létesítmény távolsága 236 m . $\sqrt{(1,0)/236} = 0,004 \leq 0,025$, tehát szeizmikus hatást nem kell



5. ábra. A Vents TT 100 PRO ventilátor jelleggörbéje (Forrás: ventilation-system.com)

számolni. Repeszhatás szempontjából a robbantás a barlang bejáratától beljebb történik, így a külszínen csak csekély számú repesz várható; a repesztávolságon belül denevérek lehetnek, robbantás előtt a területet át kell vizsgálni. [9]

KOCKÁZATKEZELÉS ÉS ENGEDÉLYEZÉS

A barlangban végzett robbantási munka a hagyományos felszíni robbantásokhoz képest számos különleges veszélyt hordoz. Alapvetően minden barlang veszélyes hely; az esetleírásban tárgyalt Hármaskúti-víznyelőnél a főbb veszélyforrások a következők: zárt, szűk tér; sötétség; mélység és zuhanásveszély; kötött visszatérés; a természetes légcseré hiánya; csúszásveszély; leeső kőzetek; alacsony hőmérséklet és magas páratartalom (7–8 °C, 100%).

A munkavégzési veszélyek közé tartozik az elsodrasi veszély a szállítópályán, a korlátozott kommunikáció a felszín és a munkahely között, az áramütés kockázata, valamint az alkalmazott robbanóanyagokból eredő veszély. E veszélyek megfelelő intézkedésekkel (egyéni védőfelszerelés, kiválasztott órállók, biztonsági távolságok, gépi szellőztetés) a megengedhető mértékig csökkenthetők.

A hatósági engedélyezés menete

A barlangban végzendő robbantási munkákhoz több hatóság egyidejű hozzájárulása szükséges. Az alábbi jogi keretek és engedélyek bekérése szükséges: (1) Barlangkutatási engedély a Bükk Nemzeti Park Igazgatóságtól; (2) Vagyongazdálkodási hozzájárulás; (3) Technológiai Utasítás (TU) jóváhagyása az SZTFH (Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága, korábban Bányakapitányság) részéről; (4) írásos munkakezdési engedély. Alkalmazandó főbb jogszabályok: 27/2022. (I.31.) SZTFH rendelet az Általános Robbantási Biztonsági Szabályzatról; 1993. évi XCIII. törvény a munkavédelemről; a természetvédelem vonatkozó előírásai. [10]

A robbantási munkát kizárólag engedéllyel és jogosítvánnyal rendelkező robbantómester végezheti. A tapasztalatok azt mutatják, hogy a hatóságok a megfelelően előkészített, részletes kockázatelemzéssel és TU-val alátámasztott kérelmeket pozitívan bírálják el. Remélhető, hogy a jelen dolgozat és az elsőként közölt, nyilvánosan hozzáférhető TU-sablon hozzájárul ahhoz, hogy a barlangkutató közösség és az engedélyező hatóságok egyaránt szemléletükben nyitottabbá váljanak a kontrollált robbantási technikákkal szemben.

ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány azt kívánja bemutatni, hogy a feltáró barlangkutatás során értelemeszerűen alkalmazott, ipari robbantástechnikával támogatott járatágítás és kitöltésselakarítás nem csupán hatékonyabb, de környezetkímélőbb is tud lenni a hagyományos kézi módszerekénél – feltéve, hogy a munkavégzés megfelelő szaktudás és engedélyek birtokában történik. Az alkalmazott Kugyela-féle TKR robbanóanyag kevés murvát termel, biztonságos indítást

tesz lehetővé, repedezett kőzetben is megbízhatóan detonál, és nitrátmentes változatában a karsztvizet sem terheli számottevően.

A Hármaskúti víznyelőbarlang példáján keresztül bemutatott eseteírás, a közölt TU-sablon és a kockázatelemzés összességében remélhetőleg segítséget nyújt kutatótársaknak az engedélyezési eljárás lefolytatásában, és remélhetően hozzájárul a robbantástechnikai szemlélet változásához a speleológiai közösségben és a hatóságoknál egyaránt.

HIVATKOZOTT IRODALOM JEGYZÉKE

- [1] Bögli A. (1963): *Adatok a karsztbarlangok keletkezéséhez*. In: Karszt és Barlang. Magyar Karszt és Barlangkutató Bizottság, Budapest, 1963. 2. félév.
- [2] Dr. Bohus G. – Szarvas B. – Dr. Virág Z. (2022): *Barlangok védelme a közeli robbantások káros hatásaitól*. In: Szimpózium kiadvány, Magyar Robbantástechnikai Egyesület, Velence, pp. 152–158.
- [3] Kessler H. (1957): *Az örök éjszaka világa*. Kossuth Könyvkiadó, Budapest.
- [4] Prof. Dr. Lukács L. – Dr. Balogh Zs. (2022): *Bányászok és a háborúk – A földalatti aknaharc az ókortól napjainkig*. In: Szimpózium kiadvány, Magyar Robbantástechnikai Egyesület, Velence, 32–60.
- [5] Tóth Á. (2016): A Szemlőhegyi barlang feltárása. *Bányászati és kohászati lapok*, 16.(2). pp. 21–25.
- [6] Szenthe I. (1985): *Üregkutatás*. In: Barlangi kutatásvezetői ismeretek (kézirat), pp. 36–42. Dr.
- [7] Dr. Kugyela L. (2023): *A helyszíni keverésű több komponensű robbanóanyagok felhasználási lehetőségeinek vizsgálata*. In: Szimpózium kiadvány, Magyar Robbantástechnikai Egyesület, Budapest, pp. 68–84.
- [8] Dr. Kugyela L. (2024): *Ipari, valamint katasztrófa- és rendvédelmi felhasználású több komponensű robbanóanyag keverékek hazai fejlesztése*. Biztonságtechnikai Doktori Iskola, Óbudai Egyetem.
- [9] Bohus G. – Horváth–Papp (1983): *Ipari robbantástechnika*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- [10] 27/2022. (I.31.) SZTFH rendelet – az Általános Robbantási Biztonsági Szabályzatról.

LÉTFONTOSSÁGÚ VESZÉLYES KATONAI OBJEKTUM VÉDELMI KÉPESSÉGEINEK FEJLESZTÉSE

DEVELOPMENT OF THE DEFENCE CAPABILITIES OF CRITICAL HAZARDOUS MILITARY FACILITIES

Dr. TERÉK Tamás¹

ÖSSZEGZÉS

A központi harcanyagraktárak mint veszélyes katonai objektumok komplex biztonsági, technológiai és szervezési kérdéseket vetnek fel, amelyek tudományos feltárását 2018-ban kezdtem meg. Az ezt megelőző időszakban egy hazai tárintézet parancsnokaként közelről tapasztalva a migrációs helyzet eszkalálódását és abból fakadóan a terrorizmus fenyegető jelenlétét, megfogalmazódott bennem a központi raktárbázisok védelmi és működési kérdéseinek új megvilágításba helyezése. Mindez arra ösztönzött, hogy a témát ne csupán szakmai gyakorlat felől közelítsem meg, hanem tudományos módszerekkel, rendszerszintű elemzéssel és nemzetközi összehasonlítással is feltárjam. Kutatásaim célja az volt, hogy hozzájáruljak egy olyan terület tudományos megismeréséhez, amelyről a hazai szakirodalomban mindeddig korlátozott mennyiségű publikáció áll rendelkezésre, noha a katonai biztonság és a kritikus infrastruktúrák védelme szempontjából kiemelt jelentőséggel bír. Az elvégzett munka főbb felvetéseit és elért eredményeit mutatja be az alábbi anyag. **Kulcsszavak:** létfontosságú infrastruktúra, veszélyes katonai objektum, harcanyag raktár, életútmenedzsment.

ABSTRACT

Central ammunition depots, as hazardous military facilities, raise complex security, technological, and organizational questions, the scientific exploration of which I began in 2018. In the preceding period, serving as the commander of a national ammunition depot, I witnessed firsthand the escalation of the migration situation and the resulting threatening presence of terrorism. These experiences prompted me to reconsider the protection and operational issues of central depot bases from a new perspective. This motivated me to examine the topic not only from a professional and practical standpoint, but also through scientific methods, system level analysis, and international comparison. The aim of my research was to contribute to the scientific understanding of a field that has so far received limited attention in Hungarian professional literature, despite its significant importance for military security and the protection of critical infrastructure. The following paper presents the main findings and results of this work.

Keywords: critical infrastructure, hazardous military facility, ammunition depot, life cycle management.

BEVEZETÉS

Kutatásom célja a központi harcanyagraktárak védelmi rendszerének átfogó meghatározása volt. Ennek érdekében a vizsgálatot szélesebb kontextusból kiindulva végeztem el, amely magában foglalta a jogszabályi és szabályozási környezet elemzését, az állomány feladattudatosságának és felkészítésének értékelését, valamint a fizikai infrastruktúra sajátosságainak feltárását.

Fontos feladatnak tekintettem, hogy tudományos módszerekkel végezzek összehasonlító elemzést a NATO szakirányú irányelvei, valamint a hazai központi lőszer-, harc- és

¹ MH Anyagellátó Raktárbázis; bázisparancsnok. A katonai műszaki tudományok PhD fokozatos. E-mail: terrek.vek@mil.hu; ORCID: 0000-0002-2080-5733

robbanóanyag-kezelésre vonatkozó jogi és szakmai szabályozó dokumentumok között. A vizsgálat kiterjedt a tárolásra szolgáló objektumok kialakítására, továbbá a védelmükre irányuló jogi és fizikai intézkedések rendszerére is.

A tudományos problémák megfogalmazása egyértelművé tette, hogy a vizsgált terület többdimenziós megközelítést igényel. Ennek megfelelően egy összetett feladatrendszerű, speciális elhelyezkedésű, valós katonai objektum részletes elemzésén keresztül kívántam alátámasztani a kutatás elméleti felvetéseit és gyakorlati következtetéseit.

Elsőként áttekintettem a létfontosságú – mely terminológia az idők folyamán kritikusra változott – infrastruktúrák és a veszélyes katonai objektumok kialakulásának folyamatát, hazai és nemzetközi jogszabályi minősítésük hátterét, valamint főbb jellemzőiket. Ezt követően elemeztem, hogy a hazai honvédségi gyakorlatban miként valósult meg az e területet érintő jogharmonizáció. Az összehasonlító elemzés eredményei alapján meghatároztam az egyes beavatkozási irányokat, továbbá feltártam a hatósági és kormányzati szervek kapcsolatrendszerét.

A második szakaszban megvizsgáltam, hogy az elemzett objektum milyen ellenálló képességgel rendelkezik egy esetleges támadás esetén, illetve a rendszer mennyiben tekinthető felkészültnek a megváltozott biztonsági környezet kihívásaira. A feldolgozott adatok alapján azonosítottam a védelmileg érzékeny területeket, és meghatároztam azokat a műszaki, üzemeltetési és szervezési megoldásokat, amelyek alkalmasak a biztonság növelésére.

A Magyar Honvédség lőszer- és műszaki harcanyagellátási rendszerének – azaz életútmenedzsmentjének – vizsgálata során összehasonlító elemzéssel bemutattam a folyamat nemzetközi és hazai jogszabályi hátterét. Ezt követően egy hazai központi tárintézetben elemeztem a végrehajtás egyes területeit és fázisait. A feldolgozott adatok rendszerezése, valamint a különböző nemzetek szabályozási és bevált gyakorlati megoldásainak összevetése alapján javaslatokat fogalmaztam meg a Magyar Honvédség lőszer- és műszaki harcanyagmenedzsmentjének szervezeti, személyi, infrastrukturális és technikai optimalizálására.

A Magyar Honvédség több mint másfél évszázados fennállása során számos fejlesztési program valósult meg, amelyek a lőszer-, harc- és robbanóanyag-készletek tárolási feltételeinek korszerűsítését is szükségessé tették. A különböző korszakok katonai fejlesztéseinek tapasztalatait feldolgozva, a Zrínyi Haderőfejlesztési Program fegyverzettechnikai fejlesztéseinek tükrében vizsgáltam, hogy a jelenlegi tároló objektumok mennyiben alkalmasak az új beszerzésű lőszer- és harcanyagok hosszú távú tárolására. Ennek során figyelembe vettem a vonatkozó NATO STANAG-előírásokat, valamint javaslatokat fogalmaztam meg a szükséges fejlesztési irányokra, ideértve a meglévő raktárak korszerűsítését és új létesítmények kialakítását.

Végezetül a kor új fenyegetettségének tükrében meghatároztam a harcanyagraktárak biztonságának növelésére irányuló lehetséges megoldásokat, különös tekintettel a komplex, többtényezős védelmi rendszer fejlesztésére.

A LÉTFONTOSSÁGÚ INFRASTRUKTÚRA ÉS A VESZÉLYES KATONAI OBJEKTUMOK MINŐSÍTÉSÉNEK JOGSZABÁLYI HÁTTERE, FOLYAMATAI

Az értekezés első fejezetében részletesen elemeztem a létfontosságú infrastruktúrák és a veszélyes katonai objektumok kategorizálásának folyamatát, hazai és nemzetközi minősítési rendszerét, valamint szabályozási hátterét. A vizsgálat kiterjedt arra is, hogy a Magyar Honvédség

gyakorlatában miként valósult meg az e területet érintő jogharmonizáció. A létfontosságú státusz értékelése során végzett elemzés igazolta azt a hipotézisemet, miszerint a vizsgált lőszer- és robbanóanyag-raktár – holott megfelel a státuszhoz előírt paramétereknek – nem esett át ilyen irányú minősítési eljáráson, és ennek következtében nem került kijelölésre létfontosságú honvédelmi létesítményként. [3] Ez a megállapítás arra utal, hogy az ilyen jellegű infrastruktúrák értékelése nem minden esetben történik meg a szükséges mélységben, ami közvetve hatással lehet az ország védelmi képességeire és biztonságpolitikai tervezésére.

A jogszabályi környezet áttekintése rámutatott arra, hogy az elmúlt évtizedekben mind a létfontosságú infrastruktúrák, mind a veszélyes katonai objektumok minősítése tekintetében jelentős számú jogszabályváltozás lépett életbe. E rendelkezések követése és szakszerű alkalmazása olyan, megfelelően képzett adminisztratív állományt igényel, amely azonban az érintett szervezetben jelenleg nem áll teljeskörűen rendelkezésre. Ennek következtében fennáll annak a veszélye, hogy egyes módosítások feldolgozása késedelmet szenved, ami az objektum működtetésének biztonságát és jogszerűségét is befolyásolhatja. Tekintettel arra, hogy a jogszabályok ismeretének hiánya nem mentesít a felelősség alól, ez a helyzet különösen kockázatos lehet olyan létesítmények esetében, amelyek működése közvetlen hatással van a nemzetbiztonságra.

A feltárt információk alapján megállapítható, hogy bár a jogalkotó a törvényi keretek meghatározásakor alapvetően szabályszerűen járt el, előfordulhat, hogy a szabályozások gyakorlati végrehajthatóságát és alkalmazhatóságát nem vizsgálta meg kellő alaposan. Ez a honvédelmi objektumok esetében különösen releváns, mivel működésüket és biztonságukat jelentősen befolyásolhatják a jogszabályi változások, valamint az azokhoz való szervezeti alkalmazkodás minősége.

Mindezek mellett figyelembe kell venni a Magyar Honvédség szervezeti és strukturális átalakulásait, amelyek folyamatosan formálják az intézmény működését és adaptációs képességét. A változások követése és feldolgozása jelentős kihívást jelent a szakállomány számára, különösen a jogi környezet folyamatos módosulása mellett. A személyi és pozícióváltozások során fennáll az információtorzulás és az intézményi tudás elvesztésének veszélye, ami hosszú távon akadályozhatja a jogszabályok gyakorlati alkalmazását és a megfelelő védelmi intézkedések kialakítását. Bár a jogfolytonosság formálisan fennmarad, az intézményi emlékezet átadása nem minden esetben történik meg teljeskörűen, ami a honvédelmi objektumok biztonságos működtetésének egyik kritikus tényezőjévé válhat.

A HAZAI LÉTFONTOSSÁGÚ VESZÉLYES KATONAI OBJEKTUM KÜLSŐ ÉS BELSŐ VESZÉLYEZTETETTSÉGE ÉS AZOK ELLENI VÉDELEM KIÉPÍTÉSÉNEK SZERVEZÉSE

A fejezet első részében részletesen bemutattam a védelem, a biztonság és a katonai objektumok fogalmi kereteit, különböző szakirodalmi értelmezések alapján. Mindezek alapvető jelentőséggel bírnak a katonai lőszer- és robbanóanyag-raktárak biztonságának vizsgálatában, mivel meghatározzák azokat az elméleti és gyakorlati alapokat, amelyekre a védelmi rendszerek kialakítása épül. Kiemeltem, hogy napjainkban az ilyen létesítmények legjelentősebb fenyegetései a háborús konfliktusokból, illetve a terrorista támadásokból eredhetnek. [1] A biztonsági kockázatok – legyenek külső vagy belső eredetűek – azonosítása és értékelése elengedhetetlen a hatékony védelmi intézkedések megtervezéséhez.

A külső fenyegetések elemzése során kiemelt figyelmet fordítottam a terrorizmus jelenségére és annak lehetséges összefüggéseire a migrációval. Rávilágítottam arra, hogy a migrációs folyamatok – bár alapvetően társadalmi-gazdasági jelenségek – potenciálisan lehetőséget teremthetnek ártó szándékú személyek számára az Európai Unió területére történő illegális bejutásra, valamint terroristacselekmények végrehajtására vagy előkészítésére. Noha Magyarország jelenlegi terrorfenyegetettségi szintje alacsonynak tekinthető, fontos hangsúlyozni, hogy a lőszer- és robbanóanyag-raktárak a terrorista szervezetek számára potenciális célpontot jelenthetnek, mivel hozzáférést biztosíthatnak katonai harcanyagokhoz. [2]

A fejezetben elemeztem a terrorista és a háborús műveletek közötti különbségeket, különös tekintettel az orosz–ukrán háború tapasztalataira. A konfliktus egyik meghatározó újítása a drónok széles körű alkalmazása, amely új típusú biztonsági kihívásokat eredményez. Megállapítottam, hogy a drónokkal végrehajtott támadásokkal szemben jelenleg nem áll rendelkezésünkre megfelelő védelmi rendszer, ami jelentős kockázatot jelenthet a robbanóanyag-raktárak számára.

A belső veszélyek és kockázatok vizsgálata során rámutattam, hogy az egyik legjelentősebb fenyegetést az objektumon belüli, véletlen robbanások jelentik. Ezek háttérben több tényező állhat: a tárolt készletek magas életkora, az üzemeltetés során előforduló technológiai szabálytalanságok, nem megfelelő tárolási körülmények, az építési és villámvédelmi rendszerek hiányosságai, valamint a személyi állomány szakmai felkészületlensége. Az előírások megsértése és a feladatok nem megfelelő végrehajtása súlyos következményekkel járhat, ezért elengedhetetlen a szabályozási környezet következetes betartása, a szakmai képzés folyamatos fejlesztése és a rendszeres ellenőrzés.

A belső kockázatok csökkentése érdekében bemutattam az aktuális tárolási tevékenységek szabályozási kereteit és a végrehajtás követelményeit. Megállapítottam, hogy bár a jelenlegi szabályozás elviekben biztosítja a biztonságos tárolás feltételeit, a korábbi honvédelmi reformok során végrehajtott raktárösszevonások és a készletek egy szűk régióba történő koncentrálása új problémákat eredményezett. Az elöregedő készletek kezelése továbbra is megoldandó feladat, és kiemelten fontos lenne a személyi állomány szakmai kompetenciáinak rendszeres felmérése és fejlesztése. [4]

A biztonsági kockázatok további csökkentése érdekében szükséges egy átfogó, objektív helyzetértékelés, amely feltárja a jelenlegi rendszer hiányosságait és meghatározza a fejlesztési irányokat. Ennek keretében javíthatók a raktározási feltételek, korszerűsíthetők az épületek külső védelmi rendszerei, valamint pontosíthatók a védelmi követelmények.

Összességében a fejezetben bemutatott elemzések igazolják a második hipotézisemet, miszerint a vizsgált létfontosságú veszélyes katonai objektum nem esett át olyan elemzésen, amely egy esetlegesen végrehajtható terrorista támadás szempontjából értékelte volna. Ennek következtében az objektum védelmi elemei nem kerültek pontos meghatározásra, és a velük szemben támasztott követelmények sem kerültek rögzítésre.

A LŐSZEREK ÉS ROBBANÓSZEREK ÉLETÚTMENEDZSMENTJÉNEK ÉRTELMEZÉSE, A NEMZETKÖZI ÉS A HAZAI RENDSZEREK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

A fejezetben a harc- és robbanóanyagok életútmenedzsmentjének nemzetközi és hazai értelmezését vizsgálva megállapítottam, hogy a fogalmi meghatározások általában

átfogóak és részletesek, ugyanakkor bizonyos kifejezések – például a *hadihaszználhatóság* vagy az *életciklus* – alkalmazása tekintetében eltérések mutatkoznak. Az életútmenedzsment olyan komplex megközelítés, amely figyelembe veszi az anyagok eredetét, a termékek származását, valamint azok alkalmazási körülményeit. Ennek révén lehetővé válik az időszakos vizsgálatok és karbantartások előrejelzése, továbbá az életciklus végének pontos meghatározása. Bár az elméleti modell koherens és jól strukturált, gyakorlati megvalósítása jelentős előkészítő munkát, részletes felméréseket, vizsgálatokat és megfelelő informatikai támogatást igényel. E tényezők bármelyikének hiánya esetén a szabályozás szó szerinti és teljes körű követése gyakorlatilag nem kivitelezhető. [5]

A nemzetközi szervezetek – így a NATO, az ENSZ és az Európai Unió – eltérő szakmai perspektívából közelítik meg a robbanóanyagokkal kapcsolatos kutatásokat és szabályozási feladatokat, ugyanakkor együttműködésük kiterjed a biztonsági kérdésekre is. A NATO szemlélete szerint a harcanyagkészletek egy konfliktus során a katonai fölény biztosításának eszközei, amelyek szakszerű kezelést, készletezést, ellenőrzést és az életciklus végén megfelelő ártalmatlanítást igényelnek. Ezzel szemben az ENSZ elsősorban felhalmozott veszélyes anyagként tekint a harcanyagokra, amelyek potenciális fenyegetést jelenthetnek a környezetre, ezért kiemelten foglalkozik azok biztonságos kezelésével és megsemmisítésével. Bár a két szervezet megközelítése eltér, céljaik végső soron összhangban állnak, és kölcsönösen beépítik egymás szakmai normáit és kutatási eredményeit saját rendszereikbe. A NATO ezen a területen különösen meghatározó szerepet tölt be, mivel vezető szerepet vállal az egységes szakmai normák és a többnemzeti műveletek számára nélkülözhetetlen „szakmai nyelv” kialakításában. [6]

Magyarország helyzetét vizsgálva megállapítható, hogy bár több nemzetközi szervezet tagja, a hazai szabályozási rendszer alapjai továbbra is szovjet eredetű szakutasításokon nyugszanak. Ezek az előírások ugyan számos esetben megfelelnek a jelenlegi követelményeknek, azonban az újonnan beszerzett harcanyagok gyártói specifikációi már a nemzetközileg elfogadott normák szerint készülnek. Magyarország NATO-csatlakozása óta több lépést tett a szabályozás nemzetközi összehangolása érdekében, azonban a hazai előírások teljes körű harmonizációja továbbra is fontos, előttünk álló feladat. A műveleti követelmények tekintetében a NATO-irányelvekhez való igazodás élvez prioritást, és a nemzetközi normáknak megfelelés érdekében kiemelten szükséges az aktív szakmai együttműködés és tapasztalatcsere. E területen még mindig jelentős fejlesztési igény jelentkezik.

A harmonizáció mellett elengedhetetlen figyelemmel kísérni a szervezeti, infrastrukturális és technikai követelmények alakulását is. Az objektumvédelmi és létesítési előírások teljesítése jelentős anyagi erőforrásokat igényelnek, ugyanakkor a hosszú távú stratégiai célok érdekében ezek megvalósítása elengedhetetlen. A kihívások különösen aktuálisak a Zrínyi Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program keretében beszerzett új haditechnikai eszközök és harcanyagok kezelése során, amelyhez elengedhetetlen az infrastruktúra fejlesztése és a hatékony szervezeti struktúra kialakítása. A megfelelő szakmai kompetencia biztosítása kulcsfontosságú tényező, amely kizárólag jól képzett, tapasztalt szakemberek bevonásával érhető el. A nemzetközi szervezetekkel való együttműködés, valamint az általuk szervezett képzések és konferenciák jelentős támogatást nyújtanak e célok megvalósításához.

A hatékony megvalósítás érdekében javaslatot tettem egy szakmai harcanyag-ellátási csoport létrehozására a Magyar Honvédség szervezetén belül. A csoport feladata

lenne a döntéshozatal szakmai támogatása, valamint a szakterület érdekeinek képviselése a különböző fejlesztési folyamatok során. Az ilyen struktúrák és koordinált szakmai együttműködések hozzájárulhatnak a honvédelmi rendszer hatékonyságának és alkalmazkodóképességének növeléséhez, valamint a nemzetközi normákhoz igazodás erősítéséhez.

A fejezetben bemutatott elemzések egyértelműen igazolják a harmadik hipotézisemet, miszerint más nemzetek hasonló rendszereinek vizsgálata és összehasonlítása a hazai gyakorlattal nem történt meg rendszerszinten.

A KORÁBBI ÉS JELENLEG IS FUTÓ FEJLESZTÉSI PROGRAMOK ELEMZÉSE, ÖSSZEHASONLÍTÁSA, A HARCANYAGOK TÁROLÁSÁNAK JELENLEGI HELYZETE

A fejezetben áttekintettem a Magyar Királyi Honvédség és a Magyar Néphadsereg időszakában végrehajtott robbanó- és harcanyag-szakterületi fejlesztési programokat. Kiemeltem azokat a szakmai eredményeket és működési megoldásokat, amelyek napjainkban is relevánsak, és amelyek figyelembevételre indokolt a jelenlegi fejlesztési folyamatok során. A tárolási, ellátási és szakmai irányítási gyakorlatok bemutatásával feltártam az akkori rendszerek működését, valamint azokat a tapasztalatokat, amelyek a mai honvédségi gyakorlatban is tetten érhetők.

A történelmi tapasztalatok alapján elemeztem a jelenleg zajló honvédelmi és haderőfejlesztési program struktúráját, különös tekintettel a végrehajtás aktuális helyzetére. Megállapítottam, hogy bár a korábbi programokból származó tapasztalatok részben beépültek a tervezési folyamatokba, a döntéshozatal során a gazdasági szempontok dominanciája több szakmai kihívást eredményezett. Számos kérdés továbbra sem kapott kielégítő választ, ami akadályozhatja a projektek hatékony és eredményes végrehajtását.

A Zrínyi Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program stratégiai jelentősége egyértelműen tükröződik a Magyar Honvédség jelenlegi biztonsági környezetében és a rendszerváltást követő fejlődési pályájában. Az új haditechnikai eszközök beszerzése és integrációja jelentős képességnövekedést eredményez, ugyanakkor a logisztikai és infrastrukturális háttér hiányosságainak mielőbbi kezelése kulcsfontosságú a hosszú távú siker érdekében. A katonai szervezetek közötti hatékonyabb együttműködés, az oktatási rendszer fejlesztése és a nemzetközi szabványokhoz való igazodás elengedhetetlen a fenntartható fejlődés biztosításához.

A katonai infrastruktúra aktuális állapota szoros összefüggést mutat a haderő működésének hatékonyságával. Az épületek és létesítmények elöregedése, valamint a karbantartás hiánya jelentős problémákat okozott és okoz, amelyek közvetlen hatással vannak a harcanyagok tárolására és kezelésére. Az elavult tárolási feltételek további kockázatokat hordoznak, amelyek akadályozhatják a jövőbeni tárolási és kiszolgálási folyamatokat, ezért sürgető feladat ezek korszerűsítése.

További kihívást jelent, hogy az eljárásrendek megújítása nem történt meg, és a hazai szabályzati rendszer szövetségi integrációja – különösen a közös képzések és a NATO-működési elvek átvétele tekintetében – nem valósult meg. Ez nagymértékben korlátozza a NATO által előírt működési normák gyakorlati alkalmazását. A problémák jelentős része a szakmai irányító szervezet hiányára vezethető vissza, amely nélkül nehézkessé válik

a nemzetközi szakmai programokban való részvétel, valamint a külföldi tapasztalatok hazai adaptációja.

Pozitív fejleményként értékelhető az MH Anyagellátó Raktárbázis alárendeltségében létrehozott Központi Raktár, amely – bár bérlemény, nem a Magyar Honvédség tulajdona – korszerű tárolási technikák alkalmazásával példát mutat az infrastruktúra fejlesztésére. Az objektum jól kezeli a modern logisztikai kihívásokat, ugyanakkor nem nyújt megoldást a harcanyagok tárolására, mivel veszélyes anyagokat nem kezel.

A fejezet következtetései alapján elengedhetetlen, hogy a fejlesztések és reformok során a szakmai szempontok nagyobb hangsúlyt kapjanak, és a stratégiai döntéshozatalban fokozottan érvényesüljenek a gyakorlati tapasztalatok. A bemutatott elemzések egyértelműen igazolják a negyedik hipotézisemet, miszerint a Zrínyi Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program keretében beszerzésre tervezett új robbanó harcanyagok és a meglévő régebbi készletek közös elhelyezhetőségének vizsgálata nem történt meg. Ennek hiánya miatt a tárolás racionalizálása további feladatokat határoz meg, amelyek a program sikeres végrehajtásának alapfeltételei.

BIZTONSÁGI FEJLESZTÉSEK AZ ÚJ VESZÉLYFORRÁSOK TÜKRÉBEN

A fejezetben a harcanyagraktárak biztonságának fokozására irányuló lehetőségeket elemeztem, a vizsgálatot kívülről befelé haladó logika mentén felépítve: az objektum külső védelmi elemeitől és légtérétől egészen a raktárépületek belső biztonsági megoldásaiig. A cél az volt, hogy átfogó képet adjak azokról a korszerű technikai és szervezési lehetőségekről, amelyek alkalmasak a modern biztonsági kihívások kezelésére.

Ráműtöttem azokra a technológiai megoldásokra, amelyek hatékonyan támogatják az illetéktelen behatolási kísérletek felderítését és megakadályozását, függetlenül attól, hogy gyalogos vagy gépjárműves megközelítésről van-e szó. A 21. század gyors ütemű technológiai fejlődése miatt a teljesség igénye nem érhető el, ugyanakkor bemutattam azokat a rendszereket, amelyek jelenleg is rendelkezésre állnak, és alkalmazásuk jelentősen növelheti az objektum védelmi szintjét.

Az elemzés igazolta, hogy az építmények védelmi szintje további fejlesztéseket igényel. Különösen indokolt a korszerű beléptető rendszerek, valamint a nagy felbontású, hálózatba szervezett kamerás megfigyelőrendszerek kiépítése, amelyek az őrzés-védelem hatékonyságát számottevően növelik. Kiemeltem továbbá, hogy lőszer- és robbanóanyag-tároló létesítmények esetében kiemelt fontosságú a tűz- és füstjelző rendszerek telepítése, illetve bizonyos területeken az automata oltórendszerek alkalmazása. Ezek a rendszerek magasabb szintű biztonságot nyújtanak, ugyanakkor kiépítésük és fenntartásuk jelentős anyagi ráfordítást igényel.

A költségek ugyanakkor indokoltnak tekinthetők, hiszen a fejlesztési programok keretében beszerzett harcanyagok értéke, állagmegóvása és hosszú távú biztonságos tárolása stratégiai jelentőségű. Emellett a környezet védelme, a környező települések biztonsága és az objektum általános védelmi szintje olyan tényezők, amelyek pénzügyi értelemben nehezen számszerűsíthetők, de nemzetbiztonsági szempontból kiemelt fontosságúak.

A fejezetben új fenyegetésként mutattam be a drónokkal végrehajtott támadások veszélyét, amelyek mára a modern hadviselés meghatározó eszközei. Konkrét példákon keresztül igazoltam, hogy hatékony technológiák állnak rendelkezésre a védett objektum

légterébe drónok általi behatolási kísérletek megakadályozására. Tárgyaltam továbbá a harcanyagraktárak levegőből, harci drónokkal végrehajtott támadások elleni védelmét, amelynek egyik hatékony – bár költséges – megoldása a földdel fedett raktárépületek kialakítása. Kutatásaim során több nemzet, köztük az Amerikai Egyesült Államok és Ausztrália hadereje által alkalmazott építészeti és védelmi szabványokat vizsgáltam, amelyek releváns példát nyújtanak az ilyen típusú létesítmények tervezéséhez. [7]

Megállapítottam, hogy az általam bemutatott fenyegetések reálisak, és bár a védekezésre alkalmas rendszerek és technológiák rendelkezésre állnak, a hazai fejlesztések ezeket a biztonsági kihívásokat eddig nem követték le megfelelően. Ennek alapján elengedhetetlen egy olyan átfogó fejlesztési stratégia kidolgozása, amely a kor követelményeinek megfelelően határozza meg a lőszer- és robbanóanyag-raktárak védelmi fejlesztéseinek irányait, valamint azok megvalósításának ütemezését.

A fejezetben bemutatott elemzések igazolják a kutatás ötödik hipotézisét, miszerint a központi rendeltetésű objektumok kialakítása és felszereltsége nem került megfelelően elemzésre, különösen a modern biztonsági kihívások tükrében. A fejlesztési stratégiák újragondolása és a szükséges intézkedések kidolgozása elengedhetetlen hazánk védelmi képességeinek további erősítése érdekében.

ÖSSZEGZÉS

Kutatásaim középpontjában a központi harcanyagraktárak védelmének átfogó vizsgálata állt, amely magában foglalta a jogszabályi környezet elemzését, a fizikai védelmi megoldások értékelését, valamint a hazai és nemzetközi szakmai gyakorlatok összehasonlítását. A kutatás során az alábbi, tudományos szempontból releváns eredményeket értem el:

Elsőként végeztem el a létfontosságú veszélyes katonai objektumok hazai jogszabályi környezetének komplex elemzését. Megállapítottam, hogy a meghatározott eljárásrendek követése és a jogszabályi változások feldolgozása a jelenlegi állomány kapacitásaival csak részben biztosítható. Ebből következően a szakmai képzési rendszer jelentős reformja elengedhetetlen a jogkövető és biztonságos működés fenntartásához.

A migrációs válsághelyzet és az orosz–ukrán háború tapasztalataira alapozva elsőként elemeztem a központi harcanyagraktárak védelmi képességeit. Az elemzés alapján meghatároztam azokat a stratégiai fejlesztési irányokat, amelyek szükségesek a modern fenyegetettségi környezethez alkalmazkodáshoz, különös tekintettel a terrorizmus és a drónfenyegetések jelentette kockázatokra.

Részletesen vizsgáltam a NATO, az ENSZ és az Európai Unió vonatkozó dokumentumait és szakmai normáit. Megállapítottam, hogy a hazai harcanyag-életciklus-menedzsment nem működik rendszerszinten koordinált módon, és a nemzetközi szakmai fórumokon való korlátozott részvétel miatt a külföldi tapasztalatok adaptációja nem valósul meg. Ez jelentős versenyhátrányt okoz a szövetségi együttműködésben.

A Zrínyi Honvédelmi és Haderőfejlesztési Program keretében beszerzésre kerülő harcanyagok tárolási és kezelési követelményeit vizsgálva megállapítottam, hogy nem történt meg a szükséges tárolókapacitás meghatározása. A kompatibilitási vizsgálatok hiánya, valamint a meglévő infrastruktúra és az új készletek tárolási igényeinek összehangolatlansága halaszthatatlan feladatot jelentenek a biztonságos üzemeltetés érdekében.

Megállapítottam, hogy a központi rendeltetésű objektumok védelme nem tükrözi a jelenlegi fenyegetettség környezetét. Hazai tapasztalatok és nemzetközi példák alapján egy integrált, többkomponensű fejlesztési stratégia kidolgozását javasoltam, amely alkalmas az illetéktelen behatolások, a dróntámadások és más modern fenyegetések hatékony elhárítására.

A kutatás szakmai jelentősége és következtetései

Az értekezés egy szűk, de stratégiai jelentőségű területet vizsgált: a központi harcanyag-raktárak szakirányítását, felügyeletét és védelmi képességeit. Megállapítottam, hogy a jelenlegi irányítási és szabályozási rendszer számos hiányosságot mutat, amelyek a jövőbeni fejlesztések tervezése során fokozott figyelmet igényelnek. A jogszabályi és szabályozói környezet diszharmóniájára rámutatva olyan javaslatokat fogalmaztam meg, amelyek hozzájárulhatnak a szabályozás koherenciájának javításához és a gyakorlati végrehajtás hatékonyságának növeléséhez.

A szakmai humán erőforrás helyzete

Az értekezés 2. fejezetében részletesen elemeztem a harcanyag-raktárakban szolgálók szakmai előképzettségét és kiképzettségét. Megállapítottam, hogy a szakképzés kiszervezése a tisztképzésből jelentős tudásvesztést eredményezett. A haditechnikai és műszaki-technikai mérnökképzés megszűnése – a Nemzeti Közszerződési Egyetem 2012-es átalakulását követően – hosszú távon kedvezőtlen hatást gyakorolt a szakirányítás minőségére. A tapasztalatok egyértelműen igazolják, hogy a megszüntetett mérnökképzés pótlása, újraindítása elengedhetetlen a szakmai kompetenciák helyreállításához.

Nemzetközi szakmai fórumok szerepe

A hazai szakállomány részvétele a nemzetközi szakmai fórumokon kulcsfontosságú a tudásbővítés, a tapasztalatcsere és a hatékony együttműködés a szövetségi műveletekben szempontjából. Távolmaradásuk a szakmai fejlődést akadályozza, és csökkenti a Magyar Honvédség interoperabilitását. Ennek megoldása a szakterület egyik kiemelt feladata kell legyen.

Infrastrukturális és technológiai fejlesztések szükségessége

A védelmi képességek vizsgálata során megállapítottam, hogy a szakmai eljáróknak nagyobb hangsúlyt kell fordítani az infrastruktúra fejlesztésére, valamint új technológiák és eljárások bevezetésére. A korszerű biztonsági rendszerek kiépítése – legyen szó fizikai védelemről, elektronikus biztonsági rendszerekről vagy drónellenes megoldásokról – jelentős költségekkel jár, ugyanakkor stratégiai jelentőségük vitathatatlan. Az értekezésben megfogalmazott ajánlások jól alkalmazhatók a hatékonysági vizsgálatok, mérések és szakmai egyeztetések során.

Zárógondolat

A kutatás eredményei egyértelműen igazolják, hogy a központi harcanyagraktárak védelme és szakmai irányítása jelenleg nem felel meg maradéktalanul a modern biztonsági környezet követelményeinek. A jogi, szervezeti, infrastrukturális és technológiai fejlesztések összehangolt megvalósítása elengedhetetlen a Magyar Honvédség védelmi képességeinek fenntartásához és erősítéséhez. Az értekezésben megfogalmazott javaslatok és következtetések a szakmai irányító szervezetek számára értékes támpontot nyújthatnak a következő időszak fejlesztési feladatainak meghatározásához.²

HIVATKOZOTT IRODALOM JEGYZÉKE

- [1] Lukács László – Balogh Zsuzsanna (2019): A kritikus infrastruktúra létesítményeinek robbantásos cselekmények elleni védelméről. *Honvédségi Szemle*, 147.(3), pp. 85–102.
- [2] Daruka Norbert: *A kritikus infrastruktúrák veszélyeztetettsége a robbanóanyagok jogellenes felhasználásának tükrében*, Mérnöki Szimpózium a Bánkiban (ESB 2022), pp. 104–109.
- [3] 2012. évi CLXVI. törvény a létfontosságú rendszerek és létesítmények azonosításáról, kijelöléséről és védelméről. Forrás: <https://mkogy.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1200166.TV> (Letöltés: 2025. 03. 29.)
- [4] Tüfe/150. Szakutastás a lőszerraktárak és bázisok részére, Honvédelmi Minisztérium, Budapest, 1981.
- [5] NATO STANDARD AAP-20 – *NATO Programme Management Framework (NATO Life Cycle Modell), Edition C Version 1*, October 2015. North Atlantic Treaty Organization Allied Administrative Publication
- [6] STANAG 4440 (Edition 3) – *NATO Guidelines for the storage of military ammunition and explosives – AASTP-1 Edition C*
- [7] Engineering and Design Explosives Storage Magazines – Engineer Pamphlet 1110-345-102. Department of the Army EP 1110-345-102 U.S. Army Corps of Engineers Washington, D.C. 20314-1000. 26 July 2020.

² A cikk alapjául szolgáló disszertációt a szerző, 2025. december 08-án „summa cum laude” minősítéssel sikeresen megvédte, a Nemzeti Közsolgálati Egyetem, Katonai Műszaki Doktori Iskoláján. Elérhető: https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/20.500.12944/108754/terek_tamas_doktori_ertekezes.pdf

AZ (IDEIGLENES) ÍR KÖZTÁRSASÁGI HADSEREG ROBBANTÁSOS MERÉNYLETEI ÉS TANULSÁGAI

THE BOMBINGS CARRIED OUT BY THE (PROVISIONAL) IRISH REPUBLICAN ARMY AND THE LESSONS LEARNED

Dr. KOVÁCS Márk Károly¹

ÖSSZEGZÉS

Az Ideiglenes Ír Köztársasági Hadsereg észak-írországi tevékenysége során alkalmazott robbantásokkal olyan korabeli eredményeket ért el Észak-Írország és Nagy-Britannia tekintetében, amik a cselekmények járulékos, hozadékaként kell értelmezni. A robbantások kitűzött céljai a félelem, zűrzavar és anyagi kár kiváltására irányult. Ezzel párhuzamosan, hozadékként olyan eredmények és vívmányok is létrejöttek, felelevenítésre kerültek, amiket a brit kormány például a középkorban fizikális városvédelemre alkalmazott, vagy első alkalommal használtak fel az elkövetők elleni vizsgálati szakaszban. Ezen járulékos eredményeket figyelembe véve formálta Nagy-Britannia akár lakott területeinek 21. századi védelmét, rendészeti és nemzetbiztonsági szabályzóit vagy a magánszektorban a biztosítási, pénzügyi normáit. Jelen tanulmány ezért az Ideiglenes Ír Köztársasági Hadsereg jelentős robbantásos cselekmények, vagy ezen tevékenység altípusainak ismertetésével azok jelentőségét és negatív, valamint pozitív hozadékait kutatja, összegzi.

Kulcsszavak: PIRA, robbantás, improvizált robbanószerkezet.

ABSTRACT

The activities of the Provisional Irish Republican Army in Northern Ireland and Great Britain involved bombing campaigns that yielded outcomes characterized as secondary or concomitant effects of their operations. While the primary objectives of these bombings were to evoke fear, induce disorder, and cause significant material damage, they simultaneously necessitated the implementation or revival of measures by the British government. These included physical urban defense strategies reminiscent of medieval fortifications, as well as the introduction of pioneering forensic and investigative methodologies during the evidentiary phase. In light of these collateral developments, Great Britain fundamentally restructured the 21st-century protection of its integrated urban environments, its law enforcement and national security regulatory frameworks, and the financial and insurance norms within the private sector. Accordingly, the present study examines and synthesizes the significance of major bombing incidents and their operational subtypes attributed to the Provisional Irish Republican Army, analysing both their detrimental impacts and their multifaceted long-term consequences.

Keywords: PIRA, explosion, IED.

BEVEZETÉS – AZ IDEIGLENES ÍR KÖZTÁRSASÁGI HADSEREG RÖVID TÖRTÉNETE

Az Ideiglenes Ír Köztársasági Hadsereg és az északír konfliktus, a korszak ismert még *The Troubles* néven is, 1968-ra eszkalálódott nyílt fegyveres, helyi konfliktussá, amiben egy

¹ Robbantástechnikai szakember, a hadtudomány PhD-fokozatos. E-mail: k.mark.kovacs@gmail.com; ORCID: 0000-0002-4102-5605.

nem állami – Ír Köztársasági Hadsereg, valamint Ideiglenes Ír Köztársasági Hadsereg – és egy állami szereplő – Egyesült Királyság – vett részt. 1985-ben Nagy-Britannia és Írország aláírta az Anglo-Irish Agreementet, amivel a két ország szándékát fejezte ki a nem állami, fegyveres szereplők észak-írországi tevékenységének felszámolásáról. A konfliktus lezárását hivatalosan 1998. április 10-én a Nagypénteki Megállapodás belfasti aláírásának időpontjához kötik, amivel a nyílt fegyveres konfliktus lezárult. A megállapodást követően történtek azonban további incidensek, és a mai napig meghatározza Észak-Írország és annak társadalmának életét. Ezen incidensek azonban már nem kerülnek jelen tanulmány vizsgálati körébe.

A konfliktus és az Ideiglenes Ír Köztársasági Hadsereg tevékenysége az 1970-es évek elején a lokális, északír vezetés teljes inkompetenciáját eredményezte. Eredményeként, utoljára 1972. március 28-án ült össze az északír kormány, azonban London elégedetlensége és az erőszak eszkalálódása miatt, két nappal később, március 30-án közvetlen London irányítása alá került Észak-Írország. [1] (1972. március 30-tól beszélhetünk a szakirodalomban ismert *Direct rule* jelenségről. A közvetlen brit irányítás következtében az észak-írországi terület elvesztette független adminisztratív, politikai és biztonsági apparátusát. Ennek értelmében a közbiztonság garantálását a brit hadsereg Észak-Írország területére vezényelt aleggységei vállalták.) 1972 egyben az észak-írországi konfliktus egyik legvéresebb évének is tekinthető, amikor hat olyan robbantás vagy robbantássorozat is történt, amivel a brit hadsereg területi kivonását próbálták meg elérni. Robbantás módszertanában megjelent az autóba rejtett robbanószerkezetek mindennapi alkalmazása.

A közvetlen irányítás ellenére a szervezet képes volt tovább eszkalálni az erőszakos és passzív, társadalommegosztó tevékenységét, amiből jelen tanulmány a robbantásos cselekményeket és annak hatásait vizsgálja.

A ROBBANTÁSOS CSELEKMÉNYEK KIVÁLASZTÁSÁNAK SZEMPONTJAI

A tanulmány további részében, röviden bemutatott robbantásos merényleteket az elkövetésükkel kiváltott hatás – halálos áldozatok száma, anyagi kár vagy kormányzati problémák –, valamint Barry Buzan szektorális biztonságpolitikai megközelítése alapján választottam ki. Általánosságban az addig nem tapasztalt támadások olyan kivételes helyzeteket eredményeztek, amelyek nagyon-nagyon rég nem, vagy a jelenünkben is aktuális célpontok jellege miatt követtek el. A robbantásos cselekmények eredménye mellett néhány merénylet esetében olyan új, innovatív megoldásokat is alkalmaztak, amelyek váratlanul érték a brit hatóságokat. Ilyen volt az enniskilleni robbantás, ami a PIRA-ban és a Sinn Féin-ben mint politikai szervezetben okozott belső válságot, vagy a Bishopgate utcában elkövetett robbantás, ami Londont és számos londoni biztosítással foglalkozó céget majdnem csődbe vitt.

A robbantás szempontjából egyszerűbb és teljesen hétköznapi megoldás azonban számtalan esetben sikeres volt, mint például a szállítójárművek – motor, autó, teherautó – robbanóanyaggal való megtöltése, a célpont melletti leparkolása és elműködtetése. Néhány esetben a kiemelkedő eredmény eléréséhez a robbanóanyag mennyisége vagy a fajtája jelentette. Ilyen robbantás eredményeként említhető a körkörös város és objektum-

védelem – középkori londoni hagyományának – újraélesztése és a kor vívmányaival való adaptálása is, vagy a Semtex robbanóanyag megjelenése, annak felhasználása.

A gyakorlati, eredményekkel igazolható tényekkel párhuzamosan a robbantásos merényletek elméleti hatását is vizsgálhatjuk, azoknak az állam biztonságára kiható tényezőiként. Ezen elméleti vizsgálathoz Barry Buzan, a nemzetközi kapcsolatok elméletének meghatározó alakja és a koppenhágai iskola egyik alapítójának szektorális megközelítést alkalmazom. Szerinte a biztonságot öt alapvető, különböző szektorra, azok egyensúlyi állapotára lehet felosztani: katonai,² környezeti,³ gazdasági,⁴ társadalmi⁵ és politikai.⁶ (Természetesen az öt szektor már kibővítésre került például a kibertérre is, azonban jelen tanulmányban az öt alapvető szektorban vizsgálom az Ideiglenes Ír Köztársasági Hadsereg robbantásos cselekményeit. Továbbá predesztinált a terrorizmus célkitűzéseiből és tevékenységéből, hogy a biztonság környezeti szektorát nem érinti.) Az egyes szektorok külön-külön vagy egyidejű fenyegetése a biztonság objektív és szubjektív oldalának csökkenéséhez egyben az állam stabilitásának gyengüléséhez vezet. A biztonság csökkenését fokozatokra osztva a következőkről beszélhetünk: kihívás, kockázat, fenyegetés, válság, konfliktus és legvégső esetben akár háború (fegyveres összecsapás) is. [2]

A Buzan-féle biztonság szektorális felosztása a terrorizmust és az aszimmetrikus hadviselés résztvevőit alapvetően a katonai szektor kihívóinak tekinti. Az Ideiglenes Ír Köztársasági Hadsereg robbantásos tevékenysége az állam katonai szektorán túlmutat, valamint Észak-Írország vitatott területe, annak lakossági összetétele miatt – és értelmezhető a robbantások több szektorra való kihatása.

² „Minden állam alapvető feladata az ország szuverenitásának és területének védelme, és az állampolgárok biztonságának garantálása. Ez szorosan kapcsolódik ahhoz, hogy a nemzetközi jog a biztonságot egy állam olyan helyzetének értelmezi, amelyben az hatékony védelmet élvez a létét, a függetlenségét és területi integritását kívülről fenyegető veszélyekkel szemben. Az új típusú kihívások egy részére az államok katonai eszközökkel válaszolnak, illetve hadseregeiket készítik fel az ellenük való védekezésre.” Lásd bővebben: Gazdag Ferenc – Remek Éva: *Biztonsági tanulmányok alapjai*. Dialóg Campus Kiadó, Budapest, 2018, pp. 111–117.

³ „A környezeti biztonság vizsgálata a helyi és planetáris bioszférának, mint minden emberi létfenntartó tevékenységrendszerének fenntartására irányul. A környezeti szektorban nyilvánvalóan környezetszennyezés, a klímaváltozás, az erőforrások okatlan használata és a nyomukban járó kedvezőtlen változások jelenthetnek biztonsági kihívást. A természeti környezetben végbement bármilyen változás közvetlenül érinti az ott élő emberek életfeltételeit.” Lásd bővebben: Gazdag–Remek: i. m. p. 23.

⁴ „A gazdasági biztonság a társadalom jólétéhez és az államhatalom elfogadható szinten tartásához szükséges erőforrásokhoz, pénzeszközökhöz és piacokhoz való hozzáférés garantálása. Egyre szélesedő terjedelme miatt érthető, hogy a gazdasági szektorban nem könnyű egyértelműen meghatározni az állam biztonságát fenyegető tényezőket.” Lásd bővebben: Gazdag–Remek: i. m. p. 22.

⁵ „Ennek vizsgálata azzal foglalkozik, hogy elfogadható fejlődési feltételek mellett miként tarthatók fenn a nyelv, a kultúra, a vallási és nemzeti identitás, valamint a szokásrend elfogadott formái. A társadalmi szektorban a különböző civilizációs mintázatok alapján kialakult közösségek önazonossága és annak megőrzése a cél.” Lásd bővebben: Gazdag–Remek: i. m. pp. 22–23.

⁶ „A politikai szektor biztonságának fenyegetését leggyakrabban az állam belső szuverenitásával hozhatjuk kapcsolatba. A belső szuverenitást elméletileg minden olyan esemény fenyegetheti, amely kétségbe vonja a hatalmat vagy annak legitimitását. E kihívások a gyakorlatban az államok, kormányzati rendszerek és az ezeket legitimáló ideológiák szervezeti és működési stabilitását érintik. Az állami működésnek azt a minimumát, amely képes biztosítani egy ország számára a fenntartható fejlődés kereteit, összefoglalóan az állami stabilitás fogalma alá sorolhatjuk.” Lásd bővebben: Gazdag–Remek: i. m. pp. 117–121.

KOCSMAROBBANTÁSOK – 1974

A helyszínek – az egyéb érdekességükön túl – mindazonáltal illeszkedtek a PIRA által bevezetni kívánt eljárásrendbe, miszerint a robbantásos merényleteket áthelyezik Angliába, a korábbi Írország és Észak-Írország területeiről, ezzel is fokozva a brit kormányra helyezett nyomásukat. Továbbá a brit lakosság az 1970-es években így közvetlen kapcsolatba került a konfliktussal az előzőleg csak a médiából érzékelt hatásokkal szemben.

1974. október 5-én Guilford településen a Guildford's Horse, a Groom és a Seven Stars kocsmát robbantották fel. Az első eredménye 5 halott, az utóbbi 4 katona és egy polgári személy halála, valamint 65 fő további sérült. [3] A robbantás helyszínéül választott kocsmák a közeli Pirbright katonai kiképzőlaktanyától 15 percre találhatók. A földrajzi közelség miatt közkedvelt vendéglátóegységek voltak a kiképzési feladatok miatt a laktanyában állomásozó katonák körében – ezért választották végül ki ezeket a kocsmákat. A guildfordi robbantások elkövetése miatt Patrick Armstrongot, Gerard Conlont, Paul Hillt és Carole Richardst ítélték el. (A teljesség igénye érdekében: Hillt és Armstrongot további két ember megöléséért – 1974 novemberében – is elítélték ugyanazon a tárgyaláson).

1974. november 7-én az Ideiglenes Ír Köztársasági Hadsereg a feltételezések szerint felrobbantotta a woolwich-i King's Arms kocsmát. A robbantás következtében két fő életét veszítette, és további 35 fő megsérült. [4]

A merénylet érdekessége, hogy a robbantás helyszínét és a hét feltételezett elkövetőtől vett nyomozati mintákat az északír konfliktusban először vizsgálták vékonyréteg-kromatográfiás⁷ eljárással. A – köröm alatt és a kéz felszínéről – vett mintavételeket követően, a minták vizsgálata kimutatta, hogy a mintavételt megelőző 48 órában robbanóanyaggal érintkeztek. A TLC-vizsgálati eljárás lefolytatása során Anne Maguire és Patrik Maguire kezéről vett mintákból nitroglicerinnomokat mutattak ki. (A tárgyalás megkezdésekor a hét vádlott vallomásában elutasította a nitroglicerinnel való bármilyen érintkezést, illetve egyéb tevékenységet.) A rendőrségi házkutatások és további személyes tárgyak átvizsgálása során azonban nem találtak semmilyen, a PIRA-val vagy bármiféle robbanóanyaggal való érintkezés jeleit. Továbbá a TLC-vizsgálat lefolytatója is hibásnak vélte a vizsgálati eredményt, mert csak egy vizsgálatot folytattak le, ami minden más bizonyítékkal ellentétes eredményt produkált, valamint a vizsgálat ismételt lefolytatása már nem volt lehetséges, az eredmények képi rögzítését szintén elmulasztották, valamint a vizsgáló is elismerte a háztartásban található kemikáliák keresztszennyeződésének lehetőségét és annak a TLC-vizsgálatát befolyásoló hatását. A bírósági tárgyalás végével, 1976. március 4-én mind a hét vádlottat elítélték – a Maguire házaspárt 14 évre, míg rokonait négy és 12 év közötti börtönbüntetésre – robbanóanyag gondatlan kezelése miatt. [5] Végül Anna Maguire 1985 májusában szabadult számos fellebbezési kísérlet és meghallgatást követően.

⁷ Thin-Layer Chromatography: A vékonyréteg-kromatográfia (TLC) széles körben használt elválasztási technika a mennyiségi és minőségi elemzéshez. Egy üveg-, műanyag vagy alumíniumlemezre felvitt állófázis vékony rétegét használja. A mozgó fázisnak nevezett folyékony oldószer hordozza a mintát, és szétválasztja azt, ahogy az a lemezen keresztül mozog. Előnye az egyszerűség, az érzékenység és a gyors elemzés más elválasztási technikákkal szemben. Az eljárás kidolgozása az északír konfliktus során John Yallop nevéhez köthető.

1974. november 21-én 20:00-kor Birmingham két helyi kocsmájában – a Mulberry Bush-ban és a The Tavern in the Townban – improvizált robbanóeszközöket hozott működésbe a PIRA. A kocsmák tele voltak vendégekkel, és a közeli utcákon is nyitva voltak még a helyi üzletek, mert az átlaglakosság azon a héten kapta meg a fizetését. A robbantás eredményeként 21 fő meghalt, és további 162 fő megsérült. A robbanóanyag szintén nitroglicerinalapú volt. [6] A robbantások feltételezett oka James McDade ír énekes és vélelmezett PIRA-tag halála. A merénylet elkövetői, vagy a merénylet hivatalos célja napjainkig ismeretlen. A birminghami merényletet, továbbá a 2005-ös londoni terrorcselekményeket mint a legtöbb áldozatot – halálos áldozatok és sérültek száma összesen – követelő merényleteket tartották számon. [7]

A Buzan-féle szektoriális megközelítés alapján jelen robbantási csoportosításban az állam – Nagy-Britannia – társadalmi és katonai biztonságának csökkentése azonosítható. Társadalmi szektor esetében a kocsmák és az ott – civil és katona – fogyasztó vendégek a brit tradicionális kocsmakultúra és társadalmi kohézió megbontását célozta. Ezen állításomat továbbá alátámasztja az a PIRA-elképzelés is, hogy az észak-írországi területekről áttették a Nagy-Britannia területére az ilyen típusú robbantásos cselekményeket. Ezzel párhuzamosan az állam és a régió biztonságát fenntartani képtelen rendőrségi, majd katonai alegységek a katonai szektorban értelmezendő biztonság és a szuverenitás állami garantálását cáfolta meg.

NAGY HATÁSSAL BÍRÓ ROBBANTÁSOS MERÉNYLETEK

Az 1979. augusztus 27-én történt a warrenpointi rajtaütés, amely során összesen 18 brit katona vesztette életét. A katonai menetoszlopot a Narrow Water kastély közelében, két, út mentén telepített IED-támadás érte, miközben Newry felé tartottak. Az első IED-t egy teherautóba rejtették, majd a menetoszlop elhaladásakor távirányítással elműködtették. (A menetoszlop Land Rover típusú SUV-okból, valamint csapatszállító teherautókból állt.) Az IED 317 kg ismeretlen típusú robbanóanyag volt tejesedényekbe porciózva, a robbanás rombolóerejének fokozása érdekében pedig benzineskannákat raktak az edények köré. [8] A robbanás során egy 4 tonnás csapatszállító járművet ért a lökéshullám, amelynek következtében 6 katona meghalt, valamint további 5 fő megsérült. A második robbantás húsz perccel később a kastély hídjával szemben történt, amiben 12 katona vesztette életét, valamint a gránitból készült kövek is elmozdultak. [9] Az IED a feltételezés szerint szintén rádióvezérléssel indult, egy időben az első elműködésével – azonban 20 perces késleltető volt még beleszerelve. A második robbantás után a közelben túrázó, a merénylettől független személyt a helyszínt biztosító katonák a PIRA egyik tagjának vélték, és ezért lelőtték. [8] A támadás indoka a katonákon, katonai menetoszlopokon való rajtaütés és anyagi károkozás volt. Következményként a katonai menetoszlopok útvonalai, a menetoszlop nagysága innentől kiemelt tevékenységként, megnövelt fegyveres biztosítással kerültek végrehajtásra. Továbbá a légiszállítás és a légiközlekedés – helikopterek alkalmazása – is előtérbe került, valamint prioritást kapott. Hosszú távon a támadás rávilágított az észak-írországi rendvédelmi és katonai alakulatok közötti információáramlás hiányosságára, következetlenségére. Margaret Thatcher ezért egy koordináló feladatkörrel megbízott

beosztást hozott létre – Northern Ireland Security Co-ordinator néven –, amire Sir Maurice Oldfieldet⁸ nyugállományból visszahívta és kinevezte ezen feladat tényleges végrehajtására, koordinálására. [10]

1984. október 12-én a brightoni Grand Hotelben követtek el robbantásos merényletet, ahol a Konzervatív Párt tartott konferenciát. Ezért a robbanás idején Margaret Thatcher és számos további kormánytag is az épületben tartózkodott. A merénylet technikai és időbeni történései bejárták a világsajtót és közismertté váltak. A merénylet célja egyértelműen politikai jellegű volt: Thatcher és a párt minél több tagjának semlegesítése. A robbantás technikai jellegében a hosszú időzítési tartam adta az újdonságot és a meglepetést. A robbanószerkezet alacsony energiafogyasztású, akár három hét időtartamra is beállítható, valamint kiegészítő időzítőt és mozgásérzékelőt is tartalmazott – a hatástalanítás megakadályozása érdekében. [11] Thatcher később megtartott felszólalásában és sajtónyilvános eseményeken már a kormány és a demokrácia ellen irányuló merényletként nevezte meg a történeteket. Egyben megerősítette és ismételten kiérdekelte az *Iron Lady* becenevet is. Jogi szempontból az elkövetőt – Patrick Magee-t – elítélték és csak a Nagy Pénteki Megállapodás során mentették fel. Biztonsági és rendészeti szempontból a politikai rendezvények és kiemelt állami vezetők személyi védelmét tovább erősítették.

Enniskillenben 1987. november 8-án követtek el robbantásos cselekményt. A robbanóeszközt egy elhagyatott katolikus általános iskola épületében helyezték el a Bellmore utcában, és előre nem jelzett időben következett be az elműködés. A robbanás 10:36-kor történt, azonban 10:50 és 11:05 között katonai megemlékezést rendeztek a környéken. Az általános iskola egyfajta illegális, de közismert hajléktalan szállóként is működött a városban. A feltételezés szerint a robbanóanyag 13–18 kg közötti, időzítővel szerelt improvizált robbanóeszköz volt, míg a támadás következménye: 11 polgári áldozat, valamint további 61 sérült. [12]

Gerry Adams mint a Sinn Féin politikai párt vezetője a robbanást követően elítélte a merényletet és egyben sajnálatát fejezte ki az áldozatok felé. A merényletet követő hetekben a korábbi gyakorlattal ellentétben a Sinn Féin megemlékezéseket tartott, valamint például a Derry városi tanács ülése előtt soron kívüli felszólalásban fejezte ki részvétét és a merénylet helytelenítését. [13] Nemzetközi szinten a támadást szintén elítélték. Az olyan nagy múltú napilapok mint a *The Guardian*, *The Telegraph*, *The Times* az első oldalukon hozták le a hírt. A robbantásos cselekményt mindegyik elítélte, és a politikai válaszok lehetőségét, Margaret Thatcher miniszterelnök és Írország szerepét, állásfoglalását latolgatva az Ideiglenes Ír Köztársasági Hadsereg és a terrorizmus tekintetében. [14]

Az IRA számára a támadást követően, a szokásos felelősségvállalástól eltérően majd 30 óra kellett, hogy részletes magyarázatot tudjon adni, valamint elnézést tudjon kérni az ártatlan áldozatok hozzátartozóitól. (Korábban általában néhány órán belül vállalta a szervezet a merényletekért a felelősséget.) Ez a szervezet társadalmi megítélését negatívan

⁸ Maurice Oldfield karrierje során katonaként hírszerzőként megfordult a Közel-Keleten, majd diplomataként Szingapúrban és az Amerikai Egyesült Államokban. 1973–1978 között az MI6 igazgatója volt, majd 1979-ben nyugállományba vonult. Thatcher felkérésére reaktiválták, 1979 októberé és 1980 márciusa között az észak-írországi koordinátori feladatokat látta el. 1980-ban homoszexualitása miatt lemondott beosztásából, egészségügyi problémái miatt 1981-ben, rákban életét veszítette. Lásd bővebben: Sir Maurice Oldfield. Britannica.com, 2026. Forrás: www.britannica.com/biography/Maurice-Oldfield

befolyásolta, és lehetőséget adott a brit kormánynak és a nemzetközi sajtónak az Ideiglenes Ír Köztársasági Hadsereg presztízsének csökkentésére.

A Buzan-féle szektorális megközelítés alapján a PIRA-támadások a politikai és katonai szektorok, illetve azok biztonságérzetének meggyengítésére irányultak. A politikai szektor értelmében az amúgy is közvetlen brit irányítás alá vont észak-írországi terület politikai biztonságát a fejezetben tárgyalt – különösképp a brightoni merénylet – befolyásolta és kérdőjelezte meg. (A PIRA alapvető létezése és a terrorizmus, valamint a szervezett bűnözés kérdésköre kihat ezen szektorra.) A katonai szektor szempontjából a PIRA robbantásos cselekményei elsősorban Nagy-Britannia azon képességét kérdőjelezték meg, hogy hatékonyan garantálja a biztonságot, fenntartsa az állami szuverenitás gyakorlati érvényesülését, valamint megfelelően fellépjen a fegyveres és terrorista támadásokkal szemben.

NAGY ANYAGI KÁRRAL JÁRÓ MERÉNYLETEK

1972. július 21-én, pénteken – innen kapta a *Bloody Friday* elnevezést is –, az Ideiglenes Ír Köztársasági Hadsereg Belfastban húsz-huszonkét autóba rejtett IED-t robbantott, ami megközelítőleg egy óra és tizenöt percen keresztül tartott. A robbantások alatt kilenc ember meghalt, és 130 megsérült. [15] Az események következtében a brit kormány elrendelte az Operation Motormen⁹ művelet végrehajtását (július 31. és december 1. között). A katonai művelet lényegében Észak-Írország lakott területei elszigeteltségének és a PIRA lokális irányításának megszüntetését célozta. (A művelet végül a fizikai elszigeteltséget megszüntette, a PIRA-támogatókat és ezáltal a PIRA fegyverkészleteit csökkentette.) Egészségügyi területen a tömeges sérültek miatt kényszerűen, de hozzájárult a triázsrendszer kiépítéséhez, modernizálásához, valamint nevesítve a belfasti The Royal Victoria Kórház intenzív betegellátási módszereinek továbbfejlesztéséhez. [16]

A PIRA 1992. április 10-én a Balti Tőzsde londoni épülete előtt egy 45 kg összsúlyú IED-t működtetett el. A robbanóeszközt egy kistargoncban szállították az épület elé, majd a furgont leparkolták. [17] A robbanás eredményeként 3 ember életét veszítette, és 90 fő sérült meg. Azonban az okozott anyagi kár közelít a 350 millió fonthoz. (A tőzsde és a vele szemben álló Chamber of Shipping hajózási társaság épülete használhatatlanná vált, végül 1995-ben el is adták a magasra becsült helyreállítási költségek miatt. Mindeközben 1992 és 1995 között a tőzsdei alkalmazottak ideiglenesen bérelt irodákban dolgoztak, ami szintén tovább növelte a cég kiadásait.)

1992. május 9–10. között a gatheshedi Metrocenter bevásárlóközpontban tűzbombákat hoztak működésbe a PIRA-tagok. A tűzbombák halálos áldozatot vagy sérültet nem követeltek, azonban az anyagi kár megközelítette az 1,5 millió fontot, amit a biztosítótársaságoknak meg kellett téríteniük. Szintén anyagi károkozást célzó támadás volt a decemberi Manchester központjában végrehajtott robbantásos merénylet, ami 13 millió fontos kárt okozott. [17]

⁹ Az összehangolt robbantássorozat következtében a brit kormány elhatározta, hogy felszabadítja és megtisztítja Észak-Írország utcáit, valamint a brit hadsereg alegységeinek ismételten biztosítani kell a mozgásszabadságát. Ennek érdekében az utcákon a fizikális akadályokat munkagépekkel eltakarították, valamint az Ideiglenes Ír Köztársasági Hadsereg feltételezett támogatóinál házkutatásokat és lefoglalásokat tartottak.

A Bishopgate utcai robbantást 1993. április 24-én hajtották végre, ami a PIRA által végrehajtott addigi legnagyobb robbantásos merényleteként vált ismertté. (Ezt követte 1996-ban a dockland-i merénylet például.) Az IED-t egy az utcán leparkolt 7,5 tonnás kisteherautóba rejtették, aminek súlya közel 1 tonna volt. A kisteherautó közvetlen a HSBC Bank központja előtt parkolt. A biztonsági erőket a PIRA-tól megszokott módon kódolt üzenetben, de előre értesítették a merénylet helyéről és idejéről. Az IED elműködött, aminek egy halálos áldozat és 44 fő sérült volt a következménye. [18] London és a biztosítási cégek – köztük például a híres Lloyd's of London – a károk kifizetése miatt majdnem csődbe mentek, majd a biztosítási rendszerben és a kifizetésekben következett be drasztikus változás. (1992 és 1993 között bár a katonai célpontok ellen jelentősen több merényletet kíséreltek meg – több mint 46-ot –, azonban a középületek és kereskedelmi célpontok elleni merényletek – 4 jelentősebb káresemény – a biztosítási cégek összefogását és egységes fellépését eredményezte a brit kormánnyal szemben. Ennek eredményeként a biztosítási szerződésekben záradékba foglalták, hogy a cégek nem fedezik a terrorizmus nyomán bekövetkezett káreseményeket, vagy a kormánnyal közösen rendezik a kárigényeket.) [17] A robbantás különös hozadéka, hogy Londont új köztéri kamerarendszerrel szerelték fel, amely már képes volt az automatikus rendszámfelismerő rendszer kezelésére is. Továbbá felelevenítették és a kor lehetőségei szerint továbbfejlesztették a *Ring of Steel* elnevezésű védelmi rendszert London belvárosában, amely városrendezési, biztonságtechnikai és rendészeti eszközök komplex alkalmazásával próbálja a terrorcselekményeket meggátolni. [18] A védelmi rendszer kialakításával hozott intézkedések, változtatások lehetőséget biztosítanak a város preventív és aktív fizikális védelmére – térfigyelő rendszerek telepítése, modernizálása, ellenőrzőpontok és beléptetési pontok kialakításával.

1996. február 9-én Docklands területén történt robbanás (ismert még Canary Wharf robbantásként is), ami Nagy-Britannia és London gazdasági életében kiemelkedő jelentőséggel bír. A PIRA számára ezért egyben markáns lehetőséget is biztosított, ami a média-megjelenés mellett jelentős gazdasági károkozási potenciált jelentett. [19] A robbanóeszközt egy Iveco Ford Cargo kisteherautóval szállították egy családi vállalkozás üzlete elé, ami mindössze 73 méterre volt a South Quay vasútállomástól, és leparkoltak vele. Majd – 90 perccel a figyelmeztető bejelentést követően – 19:02-kor működésbe hozták a 1360 kg súlyú robbanószervezetet, ami két halálos áldozatot és 40 fő sérültet eredményezett. Az anyagi kár azonban jelentős volt, megközelítőleg 150 millió fontos. A feltételezés szerint a felhasznált robbanóanyag Semtex volt, amit Csehországból vásárolt Líbia, ahonnan viszont aktív támogatást élvezett a PIRA szervezete. [20] A robbantással egyben a szervezet deklaráltnan felmondta a mintegy 17 hónapon és 9 napon keresztül fenntartott tűzszüneti megállapodást is.

A Buzan-féle szektorális megközelítés alapján a PIRA által végrehajtott robbantásos cselekmények kihatottak az állam gazdasági biztonságára, hiszen befolyásolták, és a gazdasági szektoron belül majdnem csődbe is vitték a biztosítási szektort és London városát.

ÖSSZEGZÉS ÉS TAPASZTALATOK

Jelen tanulmányban ismertetett robbantási altípusok célja általában gazdasági károkozás volt, vagy nyomásgyakorlás az Észak-Írországból állomásozó katonai alegységekre.

Az általánosításból azonban kiemelendő például a Grand Hotel ellen elkövetett merénylet, ahol közvetlen politikai szereplő ellen elkövetett merényletről beszélhetünk – bár az anyagi kár ott is jelentős volt. Ezáltal a Barry Buzan öt szektorra osztott biztonságmegfogalmazásából három szektort biztosan érintett: gazdasági, katonai és politikai.

Az anyagi károktól eltekintve a robbantások politikai hatásaira és az abból eredő társadalmi hatásokra sem voltak minden esetben felkészülve. A téves vagy tévesnek kommunikált merényletek – például Enniskillen –, vagy a szándékosan végrehajtott Grand Hotel elleni merénylet, amiket politikai tétlenségként és a PIRA tekintetében kontraproduktív tevékenységként lehet értelmezni. Enniskillent követően tömeges megemlékezés és közutálat alakult ki a szervezettel szemben, a Thatcher elleni merénylet pedig a politikum, a kormány és a Vaslady személyi kultuszát növelte.

Buzan-féle társadalmi biztonságra kiható robbantásos cselekményként említhető a Nagy-Britannia területére korlátozott – szándékosan Észak-Írország területéről áthelyezett – vendéglátóegységek – kocsmák – ellen elkövetett robbantássorozat. Az egyes biztonsági szektorok közötti átfedés jól érzékelhető, ugyanis a katonák és a civil lakosság párhuzamosan volt jelen a kocsmák vendégei között, ezért irányult mind az állam rendjének fenntartása, mind a lakosság kultúrája, szokásai ellen.

A robbanóeszközök elműködtetését követően azonban olyan társadalmi, politikai, rendvédelmi vagy gazdasági reakciót is kiváltottak, amivel nem számoltak, ezért bár akaratlanul, de hozadékként sikerült elősegíteni az egyes szektorok fejlődését. Ilyen hozadékok voltak a nagy-britanniai nagyvárosokban, kiemelten Londonban, a körkörös rendszerszemléletben kialakított, majd a mai napig fenntartott megfigyelőrendszerek felszerelése, modernizálása. A végrehajtott robbantások – például Warrenpoint – rávilágítottak a különböző katonai, rendvédelmi és nemzetbiztonsági szolgálatok párhuzamos működésére, az információmegosztás hiányára. Szervezetszinten új eljárásrendeket dolgoztak ki az alegységek elleni merényletek csökkentésére, valamint a szervezetek közötti kommunikáció és koordináció növelésére új központi beosztásokat hoztak létre. London városában 1992 után megkezdték a *Ring of Steel* projektet is, ami városrendezési, közlekedésrendészeti intézkedéseket jelentett, amivel egy komplex védelmi rendszert hoztak létre.

HIVATKOZOTT IRODALOM JEGYZÉKE

- [1] AD-A169: The IRA (Irish Republican Army): *An examination of a terrorist organization*. Forrás: <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA169713.pdf>; (Letöltés: 2026. 03. 29.)
- [2] Nyerges Tímea (2022): *A biztonság állami stabilitásra gyakorolt hatása*. Forrás: <https://biztonsagpolitika.hu/elemezsek/a-biztonsag-allami-stabilitasra-gyakorolt-hatasairol>; (Letöltés: 2026. 04. 24.)
- [3] NIA/TSCH/2016/52/46: *Guildford and Woolwich Bombings*. Forrás: https://cain.ulster.ac.uk/nai/1986/nai_TSCH-2016-52-46_1986-10-21.pdf; (Letöltés: 2026. 03. 29.)
- [4] Gupta Tanya (2020): *Woolwich IRA pub bombing: No inquests, mean deaths brushed over*. Forrás: <https://www.bbc.com/news/uk-england-51361262>; (Letöltés: 2025. 12. 28.)
- [5] NAI/DFA/2012/59/1661: *Background notes*. Forrás: https://cain.ulster.ac.uk/nai/1982/nai_DFA-2012-59-1661_1980-05-21.pdf; (Letöltés: 2026. 01. 10.)

- [6] NAI/DFA/2017/4102: *Bombing cases – oral statement by the home secretary*. Forrás: https://cain.ulst.ac.uk/nai/1987/nai_DFA-2017-4-102_1987-01-20.pdf; (Letöltés: 2026. 03. 29.)
- [7] *Birmingham Pub Bombing. Parliament of UK*, 2025. (sz. n.) Forrás: <https://hansard.parliament.uk/commons/2025-07-09/debates/3587D7A5-EE37-45DE-9FC8-30ACEAA745B1/BirminghamPubBombings>; (Letöltés dátuma: 2026.01.12.)
- [8] *Warrenpoint, 27 august 1979. Airborne Assault Parade*. (sz. n., é. n.) Forrás: <https://paradata.org.uk/content/4663972-warrenpoint-27-august-1979>; (Letöltés: 2026. 01. 10.)
- [9] Good Michael (2019): *Worst single night of violence 1979*. RTE Archive, 2019. <https://www.rte.ie/archives/2019/0724/1064953-warrenpoint-ambush/>; (Letöltés: 2026. 01. 10.)
- [10] *Northern Ireland: MT letter to Sir Maurice Oldfield (message of thanks on Oldfield's retirement as Northern Ireland Security Co-ordinator)*. Margaretthacher.org, 2011. (sz. n.) Forrás: <https://archive.margareththacher.org/doc01/17752E13F80F4634A5AB01F403E92020.pdf>; (Letöltés: 2026. 03. 09.)
- [11] *Brighton hotel bombing*. (sz. n.) Forrás: https://gropedia.com/page/Brighton_hotel_bombing; (Letöltés: 2026. 02. 10.)
- [12] FOI 2018/02397: *Request for information – sight of reports relating to various incidents during operation banner*. Forrás: <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5c0e692aed915d0c42ad69d4/02397.pdf>; (Letöltés: 2026. 01. 03.)
- [13] NAI/DFA/2019/101/2345: *Analysis of Sinn Féin/ IRA reaction to the Enniskillen bombing*. Forrás: https://cain.ulster.ac.uk/nai/1989/nai_DFA-2019-101-2345_1987-11-13.pdf; (Letöltés: 2026. 01. 10.)
- [14] NAI/TSCH/2017/10/34: *Enniskillen bombing – part II*. Forrás: https://cain.ulster.ac.uk/nai/1987/nai_TSCH-2017-10-34_1987-11-13.pdf; (Letöltés: 2026. 01. 10.)
- [15] Crossett Chuck – Newton Summer (2012): *The Provisional Irish Republican Army (PIRA): 1969-2001*. In: Chuck Crossett (ed.): *Casebook on insurgency and revolutionary warfare Volume II: 1962-2009*. United State Army Special Operations Command, (2012), pp. 379–422.
- [16] Sz.n.: *Bloody Friday: How the Troubles inspired Belfast's medical pioneers*. Forrás: <https://www.bbc.com/news/uk-northern-ireland-18886867>; (Letöltés: 2026. 02. 22.)
- [17] NAI/DFA/2021/47/56: *The financial consequences of the IRA campaign in Britain*. Forrás: https://cain.ulster.ac.uk/nai/1993/nai_DFA-2021-47-56_1993-04-26.pdf; (Letöltés: 2026. 01. 10.)
- [18] Sz.n.: *A timeline of IRA attacks in London*. London Museum, é.n. Forrás: <https://www.londonmuseum.org.uk/collections/london-stories/timeline-ira-attacks-london/>; (Letöltés: 2026. 01. 11.)
- [19] Legg George – Harrison Lucy: *Remembering the Docklands Bomb*. Forrás: <https://kclpure.kcl.ac.uk/portal/en/publications/remembering-the-docklands-bomb/>; (Letöltés: 2024. 10. 11.)
- [20] Sz.n.: *Canary Wharf Bombing: Compensation 2016*. Forrás: <https://hansard.parliament.uk/commons/2016-02-23/debates/16022346000002/CanaryWharfBombingCompensation>; (Letöltés: 2024. 10. 11.)

ROBBANÓANYAG-KERESŐ KUTYÁK SZAGLÁSI TELJESÍTMÉNYÉT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK ÉS AZOK VIZSGÁLATI LEHETŐSÉGE

FACTORS AFFECTING THE OLFACTORY PERFORMANCE OF EXPLOSIVE-DETECTION DOGS AND METHODS FOR EVALUATING THESE FACTORS

dr. OLÁH Ádám Attila¹

ÖSSZEGZÉS

A robbanóanyag-kereső kutyák egészségtana nemcsak állatvédelmi kérdés, mint más típusú munkakutyák esetén, hanem a minőségbiztosítás szempontjából is kulcsfontosságú. A szaglást mint érzékelést számos tényező befolyásolhatja a krónikus és akut betegségektől kezdve az iatrogén, pl. gyógyszeres hatásokig. Ebben a fejezetben elsőként a szakirodalmilag eddig ismert vagy feltételezett tényezőket vesszük számba, majd ezen tényezők bizonyítására tervezett, jelenleg még folyamatban lévő vizsgálatok kerülnek bemutatásra

Kulcsszavak: robbanóanyag-kereső kutya; szaglási teljesítmény; szaglási küszöbérték; szaglásromlás; munkakutya-egészségügy; szagdetekció.

ABSTRACT

The health of explosive detection dogs is not only an animal welfare concern, as it is for other types of working dogs, but is also of critical importance from a quality assurance perspective. Olfaction, as a sensory modality, can be influenced by numerous factors, ranging from chronic and acute diseases to iatrogenic effects, such as those associated with medication. This chapter first reviews the factors that have been identified or hypothesized in the scientific literature to affect olfactory performance, and then presents ongoing studies designed to provide evidence for the effects of these factors.

Keywords: explosive detection dog; olfactory performance; olfactory detection threshold; olfactory impairment; working dog health; odor detection.

BEVEZETÉS

A kutyák szaglása a legkifinomultabb érzékszervi képességük. A kutyák több, mint 220 millió szaglóreceptort hordoznak az orrnyálkahártyán, és a legalacsonyabb detektálási küszöbük illékony szerves vegyületek (VOC) esetén a parts-per-trillion tartományba esik, ami az emberhez viszonyítva 10 000–100 000-szeres érzékenységet jelent. [1][2] Többek között ez a képesség és a vele párosuló operáns tanulékonyág teszi a munkakutyákat pótolhatatlanná számos területen, viszont pont emiatt minden olyan tényező, amely átmenetileg vagy tartósan rontja a szaglást, közvetlen operatív és életbiztonsági kockázatot jelenthet számukra.

¹ Állatorvostudományi Egyetem Sebészeti Tanszék, klinikus állatorvos, PhD-hallgató. Robbantástechnikai szakmérnök hallgató. E-mail: olah.adam.attila@gmail.com; ORCID: 0009-0009-3072-0803.

A SZAGLÁS ANATÓMIAI ÉS ÉLETTANI ALAPJA

A kutya orrüregében a maxilloturbinaliák a légkondicionálásban, az ethmoturbinaliák pedig a szagdetekcióban játszanak főszerepet. Belégzéskor a levegő mintegy 12–13%-a a dorsális olfaktorikus hasadékba terelődik, ahol a többmagsoros hengerhámban elhelyezkedő olfaktorikus receptorsejtek ciliumain található G-fehérje kapcsolt szagreceptorok kötik az illékony molekulákat; ez aktiválja az adenilát-cikláz – cAMP – Na⁺-csatorna kaszkádot és akciós potenciált generál, amely a tractus olfactoriuson át a bulbus olfactoriusba, majd a piriform és entorhinális kéregbe jut. [1][2] A vomeronazális szerv feromonokra reagál, ipsi-laterálisan vezet és a viselkedési-élettani válaszokat kódolja.

A kutya szaglási hatékonyságának ezzel kapcsolatos kritikus eleme az intakt nazális légáramlás (orrkagyló-anatómia, méretarányok), az ép, hidratált nyálkahártya és Bowman-mirigy szekréció, a folyamatos szaglősejt-regeneráció (a sejtek 30–60 napos élettartammal cserélődnek bazális őssejtekből), az ép nervus és bulbus olfactorius, a megfelelő központi feldolgozás (limbikus rendszer, tudatos azonosítás), valamint a megfelelő intraorális/intranazális mikrobiom. Bármelyik szint sérülése hyposmiához vagy anosmiához vezethet. [1][3]

A SZAGLÁSROMLÁS MECHANIZMUSAI, MÉRTÉKE ÉS IDŐTARTAMA

Jenkins és munkatársai (2018) szerint a farmakológiai hyposmia ismert mechanizmusai:

- a szagmolekula-kötés zavara megváltozott nyálkamennyiség vagy -minőség miatt (pl. antihisztaminok);
- az olfaktorikusneuron-megújulás gátlása (szteroidok, citosztatikumok);
- nazális vazokonstrikció (dekongesztánsok);
- enzimmediált hatások (ACE-gátlók, bradykinin felszaporodása);
- a cAMP/cGMP-szignalizáció módosítása (foszfodiészteráz-gátlók);
- Zn-keláció (kardiovaszkuláris szerek).

A romlás mértéke változó: a metronidazolnál [4] az ammónium-nitrát detekciós küszöb körülbelül egy nagyságrenddel emelkedett (a hatás az 5. és 10. nap között dóziszfüggő volt), míg a szopornyica (CDV) okozta anosmia gyakran teljes és tartós lehet. A reverzibilitás az ok szerint változó: gyógyszerindukált hyposmia metronidazol esetén kb. 10 nap alatt rendeződik, glükokortikoid esetén néhány nap vagy hét alatt, citosztatikumok és D-penicillamin esetén hónapok alatt; míg vírusos eredetű anosmia (CDV) tartós, akár végleges szaglászvesztést/szaglászromlást is okozhat. [5] A sugárkezelés utáni anosmia jellemzően krónikus.

GYÓGYSZEREK MINT IATROGÉN SZAGLÁSRONTÓK

A szakirodalom két csoportot különböztet meg, az egyik az emberi medicinában igazolt vagy farmakovigilanciai adatbázisokban gyakran jelentett gyógyszerek csoportja, amelyek

csak gyaníthatóan viselkednének hasonlóan kutyákban is, míg a másik csoportba a kutyákon közvetlenül már vizsgált szerek tartoznak.

Humán vonalon Schluter és munkatársai (2023) az FDA FAERS-adatbázis 2011–2021 közötti elemzésében az olfaktorikus és gusztatorikus mellékhatások szempontjából a leggyakrabban jelentett szerek között a flutikazon-propionátot (214), a cinktartalmú készítményeket (370), a vareniclint (24), a lenalidomidot (490) és a sunitinibet (468) azonosította; az immunmoduláns/onkológiai csoport adta az olfaktorikus mellékhatások 21,6%-át. [6] Lötsch és munkatársai (2000) és Henkin (1994) szerint az olfaktorikus zavarok teljes spektrumában a kardiovaszkuláris (ACE-gátlók, dihidropiridin típusú kalciumantagonisták, béta-blokkolók), antibiotikus, antineoplasztikus, antireumás (D-penicillamin), tirosztatikus (carbimazol), immunmodulátor (interferonok) és bizonyos antifungális/antiprotozoális (terbinafin, ciprofloxacín, doxiciklin, metronidazol) szerek a legfontosabb csoportok. [7][8]

Közvetlenül kutyán vizsgált szerek

Metronidazol

Jenkins és munkatársai (2016, Am J Vet Res) 18 robbanóanyag-kereső kutyán igazolták, hogy a metronidazol orális adagolása (25 mg/kg q12h, 10 napon át) három vizsgált robbanóanyag közül kettőnél (ammónium-nitrát és TNT) szignifikánsan megemelte a detekciós küszöböt; a doxiciklin (5 mg/kg q12h) ugyanezen kísérletben nem rontotta a szagláshatékonyt. A romlás a kezelés befejezése után kb. 10 napon belül megszűnt. [4] Ez a kutyafélék körében a legjobban dokumentált gyógyszerindukált hiposmia; az AAHA (2021) emiatt a metronidazol detekciós kutyáknál való rutinszerű alkalmazását csak végszükség esetére javasolja. [9]

Glükokortikoidok (dexametazon, hidrokortizon, prednizon)

Ezek és munkatársai (1992) dexametazon-injekcióval (2 mg/kg/nap) és hidrokortizon + dezoxikortikoszteron kombinációval (0,25 mg/kg/nap) szignifikáns olfaktorikus küszöbemelkedést mutattak ki kutyán, anélkül, hogy fénymikroszkóposan kimutatható epithelialis károsodás lett volna; tehát a hatás reverzibilis volt. [10] Az embervizsgálatok ezzel szemben azt mutatják, hogy orrgyulladásos állapotban a szisztémás vagy intranazális kortikoszteroid javíthatja a szaglási teljesítményt, mivel csökkenti a nyálkahártya-ödémát. [11] [12] Tehát kutyán a szteroidhatás kettős: nemgyulladásos esetben hyposmiát okozhat, viszont aktív rhinitisben akár kedvező is lehet.

Anesztetikumok (izoflurán, propofol)

Lin (2018) „brown root rot” növénybetegség-kereső kutyákon végzett crossover-vizsgálatban kimutatták, hogy 30 perces izoflurán vagy propofol általános anesztézia után 0,5, 1, 2, 4 és 24 órával végzett szagdetekciós tesztben sem az izoflurán, sem a propofol nem okozott szignifikáns szagláscsökkenést. A 24 órás ürülés után a teljesítmény visszatért az alapszintre. [13] Ez összhangban van Söbeler és munkatársai (2018, BMC Vet Res) MR-spektroszkópiás megfigyeléseivel az izoflurán/szevoflurán reverzibilis agyimetabolit-változásairól. [14] Mindemellett kutyaképzői álláspont szerint általános anesztézia utáni 24–72 órás munkahelyi pihentetés ajánlott.

Fentanil és naloxon

Lazarowski és munkatársai (2019, Animals) randomizált crossover-vizsgálatban 2, 24 és 48 órás követéssel azt találták, hogy intravénás fentanil-szedáció és az azt követő intranazális vagy intramuszkuláris naloxon-reverzió nem rontotta a UDC (Universal Detection Calibrant) detekciós küszöböt. [15] Ennek operatív jelentősége az opioid baleseti expozíciójának kezelésekor jelentős.

Egyéb antibiotikumok

A doxiciklin esetében Jenkins és munkatársai. (2016) kutyán nem találtak negatív hatást. [4] Ugyanakkor humán adatok alapján az aminoglikozidok (sztreptomycin, gentamicin), tetraciklinek (tartós szisztémás használat esetén), és bizonyos fluorokinolonok (ciprofloxacín) potenciális olfaktorikus mellékhatást hordoznak, [8][16] de ezeket kutyán még nem vizsgálták standardizálva.

Emberi adatok alapján gyanított, de kutyán nem vizsgált szerek

Az alábbi gyógyszercsoportok humán farmakovigilanciai adatok alapján olfaktorikus mellékhatást okozhatnak (1. táblázat), ezért munkakutyáknál a kockázat-haszon arány megfontolása indokolt, és érdemes lehetőség szerint terápiás alternatívát keresni vagy a kezelés alatt és után objektív összehasonlító szaglástesztet végezni az állattal. [6][8][17][18]

Vakcinák, parazitaellenes szerek, nsaid-ok

Az alapimmunizáló kutyavakcinákról (CDV, CPV, CAV-2, parainfluenza, Leptospira, veszettség) jelenleg nincs lektorált publikáció, amely közvetlenül a szaglási küszöb romlását igazolná; ezzel szemben az ezen kórokozók okozta természetes fertőzések közvetlen olfaktorikus károsodással járnak (lásd Közvetlenül kutyán vizsgált részben). A nemszteroid gyulladáscsökkentők (carprofen, meloxicam, robenakoxib) és a havi izoxazolin- vagy makrociklikus lakton-tartalmú külső-belső parazitaellenes szerek olfaktorikus hatásáról nincs munkakutyákkal kapcsolatos tanulmány. A probiotikumok használata az AAHA keresőkutya-iránymutatása szerint biztonságos és előnyös lehet a metronidazol kiváltására. [9]

SZAGLÁSROMLÁSÁHOZ VEZETŐ BETEGSÉGEK, KÖRÜLMÉNYEK**Felső légúti betegségek és nazális kórképek*****Vírusos fertőzések***

Myers és kutatótársai (1988a) elektroolfaktográfiával (EOG) igazolták, hogy a kutyaszoronyica-vírus (CDV) természetes fertőzéseinek 8 akut és 6 lábadozó esetében anosmia (illetve 1 esetben hyposmia) volt jelen; a gyógyult fázisban (10–26 héttel a fertőzés után) is

1. táblázat. Olfaktorikus mellékhatások (szerkesztette a szerző)

Gyógyszercsoport	Hatóanyagok	Feltételezett mechanizmus
ACE-gátlók	Enalapril, kaptopril, ramipril	Cink-keláció, bradikinin-felhalmozódás → ízzavar és hyposmia
Kalciumcsatorna-blokkolók	Amlodipin, nifedipin	Nyálkahártya-perfúzió csökkenése
Béta-blokkolók	Propranolol, atenolol	Központi és perifériás vaszkuláris hatás
Foszfodiészteráz-gátlók	Sildenafil, tadalafil	cGMP-szint módosítása az olfaktorikus jelátvitelben
Antihisztaminok	Difenhidramin, klórfeniramin	Nyálkahártya kiszáradása, az odoráns kötés zavara
Intranasális dekongesztánsok	Oximetazolin, xilometazolin	Nazális vazokonstriktó, krónikus rhinitis medicamentosa (gyógyszer okozta orrfolyás)
Intranasális cink-készítmények	Cink-glükonát spray	Direkt olfaktorikus neuroepitheliális toxicitás [19]
Citosztatikumok	Lenalidomid, sunitinib, ciszplatin, ciklofoszfamid	Gyorsan osztódó olfaktorikus receptor- és bazális sejtek károsítása
Antireumatikumok / immunomodulánsok	D-penicillamin, methotrexát, IVIG	Cink-keláció, immunmediált epitheliális károsodás
Pajzsmirigy-szerek	Carbimazol, methimazol	Tiol-csoportú gyökök, ízzavar (kutyán hyperthyreosis ritka)
Antifungálisok	Terbinafin	Receptorszintű hatás, ízzavar–hyposmia
Antiepileptikumok	Topiramát, fenitoin	Karboanhidráz-gátlás, központi hatás
Antidepresszánsok	SSRI-k	Központi olfaktorikus feldolgozás módosítása
Opioidok (tartós)	Morfin, metadon	Krónikus szedáció, légzésdepresszió

6/6 esetben perzisztens szaglási károsodást találtak. [5] Ugyanezen szerzőcsoport (Myers és kutatótársai 1988b) a parainfluenza-vírus (CPIV) fertőzéséhez is társuló dysosmiát mutatott ki. [19] Ez egyértelműen rávilágít arra, hogy munkakutyák esetében miért különösen fontos a megelőzővakcinázási-program (parainfluenza, szopornyica).

Krónikus idiopátiás rhinitis, granulomatózus gyulladás

Windsor & Johnson (2006) és Lobetti (2009) retrospektív vizsgálatai szerint a perzisztens orrvádékozással küzdő kutyák 30–50%-ánál idiopátiás limfoplazmocitás rhinitis áll fenn, amely az olfaktorikus nyálkahártyát is érinti. [21][22] Tress és kutatótársai (2024) génexpressziós elemzéssel kimutatták, hogy idiopátiás krónikus rhinitises kutyákban szignifikánsan csökkent a csillós sejtek génjeinek expressziója, ami a légmozgást és a szagdiffúziót egyaránt károsítja. [23]

Nasalis neoplasiák

A kutya orrtumoriái – az adenokarcinóma, a fibroszarkóma és a kondroszarkóma – Mortier & Blackwood (2020) szerint a teljes szaglószeret megzavarják; sugárkezelést követően gyakran tartós hyposmia marad vissza. [24] Az orrtraumák, orrban lévő ideggesztek és tályogok hasonló hatást fejtenek ki.

Allergiás és gombás eredetű rhinitis

Aspergillus-rhinitis [25] és pollenérzékenység szintén ödémát és váladékozást idéz elő, mely közvetve csökkenti a detekciós érzékenységet. [26]

Szájhigiénia és parodontális betegségek

Az utóbbi évtized humán irodalma egyértelműen kimutatta a parodontális betegség és a szaglászomlás közötti kapcsolatot. Schertel Cassiano és kutatótársai (2024, Oral Diseases) több központra kiterjedő felmérésben (több mint 800 résztvevő) bizonyították, hogy az önbevallott parodontitis (fogágygyulladás) szignifikánsan összefüggött a torzult íz- és szagfunkcióval. [27] Feltételezhetően az összefüggés hátterében a halitosis (illékony kén-tartalmú vegyületek miatti bűzös lehelet) áll. Egy 2024-es klinikai vizsgálat során Sniffin' Sticks tesztekkel igazolták, hogy a parodontitises betegek olfaktorikus pontszámai szignifikánsan alacsonyabbak. A feltételezett mechanizmusok (a) a H₂S, metil-merkaptán és más VSC-k apoptotikus hatása a keratinocitákon és az érzékhámsejteken, [28][29] (b) az úgynevezett egyesített légút (unified airway) koncepciója (felsőlégúti gyulladás horizontális terjedése), valamint (c) az orális mikrobiom dysbiosisának hatása a nazális mikrobiomra. [30]

Kutyán ez a kapcsolat közvetlenül nem volt még vizsgálva, de mind anatómiai (nasopalatinális csatorna a vomeronazális szerv felé), mind mikrobiológiai okokból nagyon valószínű, hogy súlyos parodontitis, masszív lepedék és fogkő, foggyökértályog és oronasalis fistula is csökkenti a szaglászom teljesítményt munkakutyán [31] kimutatták a munkakör-függő nazálismikrobiom-különbségeket). Catton & Gardner (2022) COVID-asszociált adatai szerint a fogselyemhasználat (mint a parodontális egészség markere) gyorsabb szaglászomhelyreállást jósol, megerősítve az oral health–olfaction (szájhigiénia-szaglás) tengelyt. [32]

Keresőkutyákra levonható konklúzió

A rendszeres (évente legalább egyszer, érintett egyedeknél félévente) általános anesztéziában végzett professzionális fogköeltávolítás, subgingivális tisztítás, parodontitis-kezelés és a napi fogmosás nemcsak fogászati, hanem detekciós teljesítmény-érdek is. Ráadásul az anesztéziával kapcsolatos rövid távú szaglászomcsökkenést nem bizonyították. [13]

Életkorral járó neurodegeneratív folyamatok

Hirai és kutatótársai (1996) szövettanilag igazolták, hogy 17 éves kor felett a kutyák olfaktorikus epitheliumában jelentős atrófiás és degeneratív elváltozások jelennek meg. [33] Bray és kutatótársai (2023) 18 idős és 18 középkorú kontrollkutyán végzett 3-választásos sötétfázisú szaglászomkeresési tesztben az idős csoport szignifikánsan rosszabbul teljesített ($p = 0,036$). [3] Ehhez a hippocampusra és piriform kéregre lokalizált neurodegeneratív elváltozások és a Canine Cognitive Dysfunction (CCD) kórkép is hozzájárulhat. Ezekből levonható, hogy teljesítménymonitorozást életkortól függetlenül kell végezni és 8–10 éves kor felett ajánlott a szolgálati pálya újraértékelése.

Endokrin és szisztémás betegségek

A hyperadrenocorticismus, a hypothyreosis, a diabetes mellitus és a granulomatózus meningoencephalitis közvetett vagy közvetlen módon szaglásromlással járhat kutyán [34][4]. Az endokrin diszreguláció a nyálkahártya hidratáltságát, az ORC-regenerációt és az olfaktorikus jelátvitelt is befolyásolhatja. Ezért a tünetet mutató kutyáknál teljes biokémiai szűrés (T4, kortizol, glükóz) ajánlott.

Diéta, testhőmérséklet, fizikai terhelés

Altom és kutatótársai (2003) és Davenport és kutatótársai (2001) közvetlenül kutyán igazolták, hogy a magas telített zsírtartalmú étrend rontja a szaglási küszöböt; [35][36] ezzel szemben a magas többszörösen telítetlen zsírsavat tartalmazó (PUFA, különösen a linolsavban gazdag kukoricaolaj) diéták javítják azt. [37] 17 kiképzett kutyán háromféle diétát hasonlítva azt találták, hogy a magas PUFA-csoport a magas telítettzsír-tartalmú kontrollcsoportéhoz képest 1,42-szer (95% CI 1,08–1,87, $p = 0,009$) gyakrabban találta meg a célszagot. Wakshlag és kutatótársai (2013) tanulmányában a kukoricaolajjal kiegészített normál étrend lerövidítette a testhőmérséklet visszatérését a normál tartományba terhelés után, és javította a TNT, ammónium-nitrát és füstmentes lőpor detekciót. [38] A feladat utáni szaglászökkenés jól dokumentált, [37] 30 perces futópados edzés után átmeneti, 30–60 perces hyposmia alakul ki.

A magas környezeti hőmérséklet és a zihálás (kényszerített orális légzés) az ortonazális légáramot megzavarja, és növeli a szaglási küszöbértéket. [1] Viszont a magas páratartalom javítja a teljesítményt. [39]

Nazális, orális és gastrointestinalis mikrobiom összefüggései

Tress és kutatótársai (2024), valamint Isaiah és kutatótársai (2017) bemutatták, hogy a kutya nazális mikrobiomjának diverzitása munkakörfüggő. [23][31] Krónikus rhinitisben és nazális neopláziában a mikrobiom egyensúlya megbomlik. [23] Humán adatok [40] szerint a vajsavat termelő baktériumok jelenléte/hiánya befolyásolja a szaglást. A GI-tengelyen keresztül a tápanyag-felszívódás és a neuroinflammáció modulációja is fontos. Probiotikumok adása munkakutyáknál biztonságos opció a stresszhasmenés kezelésére és nem ronthat a szaglási teljesítményen, ellentétben a metronidazollal. [9]

Stressz, fáradtság, hidratáció

A pszichés stressz és a fizikai kimerültség kortizolemelkedéssel jár, ami közvetett (a glükokortikoidok a Közvetlenül kutyán vizsgált szerek rész szerinti hatása) és közvetlen (figyelmi, motivációs) úton csökkenti a teljesítményt [41][42]. A dehidráció rontja a nyálkahártya nedvességtartalmát, ami közvetlenül akadályozza az illékony molekulák oldódását és kötődését.

A SZAGLÁSKÉSZSÉG MÉRÉSE; SAJÁT VIZSGÁLATAINK

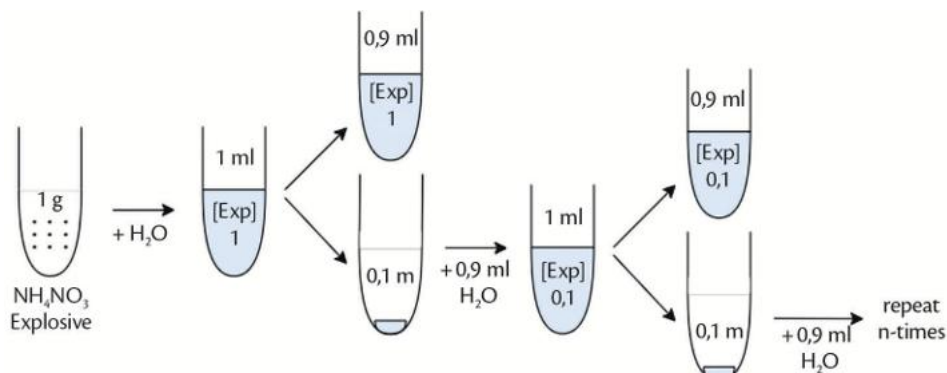
A fent ismertetett, keresőmunkát feltételezhetően befolyásoló faktorok hatását jelenleg próbáljuk saját kísérletek révén bizonyítani. Elsőként a rossz szájhygiéna robbanóanyag-kezesésre gyakorolt negatív hatását vizsgáljuk szolgálati kutyáknál. Kezdetnek az aktuális szaglaskészséget kell meghatározni minden egyed esetében. Ebben Gál János nyújt szakmai segítséget, a helyszínt pedig az EduCanis Kft. biztosítja. A szaglaskészség felmérése után egy teljes körű szájhygiéniás kezeléssel esnek át az állatok az Állatorvostudományi Egyetem Kisállatklinikáján, amely magában foglalja a fogkö és az esetlegesen leromlott állapotú, meglazult, előrehaladott fogágygyulladásal érintett fogak eltávolítását is. Klinikai tapasztalatom alapján a kezeléssel azonnal megszüntethető a bűzös lehelet. Az esetenként szükséges gyógyszeres utókezelés időtartama után ismételt elvégezzük a szaglászékenységi vizsgálatot, így megállapítva a kezelés hatását.

Fontos kiemelni, hogy a kutyák ösztönös és tanult viselkedése nagyban befolyásolhatja a mérési eredményeket és a kísérlet sikerességét. A kutyáknak ismerniük kell a feladatot, hogy a rejtőedények közül az egyikből ki tudják szagolni a mintát. Az általunk eddig használt fém rejtőedényekre való kondicionálás pár óra gyakorlással megvalósítható volt a kutyáknál. A vizsgálatok szempontjából az egyik nagy probléma, hogy a keresőkutyák általában a lokalizálásra vannak kiképezve, tehát nem azt jelzik, hogy a levegőben jelen van-e az anyag szaga, hanem követik azt a végső, legnagyobb koncentráció helyéig. Ilyen tekintetben nehézséget jelent, hogy az általunk prezentált minimál koncentrációjú szagminta bizonytalanságot kelthet az állatban: bár érzi, de jelezni még nem akar rá. A hatósági vizsgán a keresendő legkisebb mennyiség 50 gramm, amely az alapján a szakmai irányelv alapján lett megfogalmazva, hogy bűnös szándékú cselekmény esetén ennyi robbanóanyag szükséges, hogy érdemi sérülést vagy kárt okozzon a környezetében. Emiatt a robbanóanyagkereső kutyák nincsenek trenírozva ennél kisebb mennyiségek kimutatására, így a kutyák egyedi varianciája, hogy mennyire magabiztosak jelzés adásában kisebb mennyiségeknél. Itt kap nagy szerepet a kutyavezető, aki ismeri kutyája mozgását keresés közben, és már jelzés előtt is látja, ha szagot fogott. Ilyen viselkedésforma lehet, ha ösztönösen megnyalja az edényt, hogy jobban érezze az alacsony koncentrációjú mintát, vagy tanultán próbál a tárgy mögé kerülni, egy szomszédos tárggyal hasonlítja össze, arra számítva, hogy valamelyik irányban nő majd a szag intenzitása.

Fontos megemlíteni, hogy a kisebb mennyiségek kimutatása nemcsak a kísérletes teljesítménymérésben lenne releváns, hanem a valós keresésben is. Bár az előírás az 50 gramm feletti mennyiségek jelzését írja elő, a bűnös szándék esetén feltételezhetjük, hogy törekednek a rejtésre és nem lesz lehetősége a kutyának szabad szagforrásként hozzáférnie az 50 grammhoz, hanem csak a maradványanyagokhoz, kontaminációkhoz, ami nagyságrendekkel kisebb.

A szakirodalomban megjelent szaglászvizsgálati leírások alapján úgy döntöttünk, hogy két robbanóanyagra, ammónium-nitrátra (AN) és trinitro-toluolra (TNT) is elvégezzük a szaglászüközöbérték-meghatározást.

A szaglási érzékenységet vizsgáló kísérletben először 1000 (± 1) milligramm robbanóanyag-minőségű ammónium-nitrátot oldunk 1000 μ l szobahőmérsékletű desztillált vízben. Az így keletkező 1 g/ml koncentrációjú oldatot használjuk törzsoldatként egy tízszeres hígítási sorozat elkészítéséhez. A törzsoldatból 100 μ l-t pipettázunk steril 2 ml-es Eppendorf-csőbe, majd ezt az oldatot 900 μ l desztillált vízzel felhígítjuk. A kapott 1 ml, 0,1



1. ábra. Hígítási sor készítése ammónium-nitrát vizes oldatából

g/ml koncentrációjú oldattal tetszőleges számban megismételhetjük a fenti hígítást (1. ábra). A hígítási sorban szükséges legkisebb koncentrációjú oldat kísérletesen kerül meghatározásra, az alapján, hogy hány hígítás után nem tudja jelezni a keresőkutya a mintát.

Ammónium-nitrát vizes oldata esetén az elkészített mintákat az Eppendorf-csőben és kupak nélkül a kutya kiképzése során is használt lecsavarható, furatolt tetejű acél tárolóhengerekben (csőátmérő: 4 cm, magasság: 7 cm) hagyjuk. A kísérlet ismételhetősége szempontjából kiemelten fontos, hogy az oldatok ne legyenek előre hűtve, hanem a kísérleti helyiséggel megegyező szobahőmérsékleten tároljuk őket, ugyanis a hőmérséklet befolyásolja az oldat párolgását, így a kialakuló szagkoncentrációt is.

A kutya biztos szagfogását segítő a mintákat a rejtőedényzet furataihoz közel kell elhelyezni, ugyanis alacsony koncentráció esetén fals negatív eredményt kaphatunk, ha a folyadékfelszín vagy a kivált oldott anyag mélyen van a szellőző furatokhoz képest, és a szagmolekula nem képes az edényzeten kívülre diffundálni. Ebben az esetben a kutya még biológiailag képes lenne érzékelni az adott koncentrációt, de a mélyre rejtéssel akadályozzuk benne. A kísérlet során az alacsonyabb koncentrációjú szagmintáktól megyünk egyre feljebb. Azt vesszük szaglási küszöbértéknek, ha az adott hígítást a kutya kétszer is sikeresen jelzi. Az érték pontosítható, ha a talált koncentráció keresését egy tízszeres hígítás helyett kétszeres hígítási sorral ismételjük meg.

A fenti vizsgálati elrendezéssel eddig azt tapasztaltuk, hogy sok esetben a kutya számára nem csak a tiszta hatóanyagtartalom a releváns, hanem a segédanyagok és a párolgást segítő tényezők is. Ammónium-nitrát esetében a 1 gramm száraz prill megtalálása is nehézséget okozott, számos esetben sikertelen volt, míg vizes oldatban kisebb oldottanyag tartalom is magabiztosan kimutatható volt. Kész termék esetében, pl. Emulex-nél már milligrammos tartományban is magabiztos találatot láthattunk. Feltételezhetően a termékben található oldószerek kipárolgása kapcsolt szagként nagyban segíti a kutyát. Ezek alapján jelenleg úgy véljük, hogy kísérletes alapon szükséges megállapítanunk számos robbanóanyagra egy szaglásértékelő skálát. Ezt számos robbanóanyagipari termék kis anyagmennyiségű skálájával és több egészséges kutya ismételt keresési eredményével szeretnénk megvalósítani. Az ebből felállított teljesítményértékelő rendszer reményeink szerint képes lesz a kutya szaglási egészségének becslésére betegségek, gyógyszer mellékhatások és korral járó neurodegeneráció tekintetében is.

A vizsgálatok folyamán kiemelt figyelmet szeretnénk fordítani a szaglásregeneráció kérdéseire is, mert az eddigi próbakísérletek folyamán láttuk, hogy a teljesítmény drasztikusan csökkent a próbálkozások számával. Például a kémcsőbe szórt és acélcsövekbe rejtett negyed gramm TNT-pelyhet elsőre magabiztosan megtalálta egy kutya, ám másodjára már elbizonytalanodott és nehezen választott a 6-ból 2 cső közül, elhívható volt a pozitív mintától. Harmadik keverés után pedig már olyan mértékű volt a szaglás kifáradása, hogy tanácstalan volt a kutya és 6 cső közül egyet sem tudott választani.

A szaglásvizsgálatok során kihívást jelent, hogy az anyag felülete közvetlen kapcsolatban van a szagintenzitás kialakulásával, viszont némely anyag felülete fizikai adottságaiból fakadóan nem adható meg, mint például a TNT pehely vagy az AN prill. Utóbbira prezentáltunk oldatos kísérleti leírást, ahol a kutyák közvetlenül az oldatot szagolhatják, aminek állandó a felülete és a párolgása, viszont a koncentrációját tudjuk mérhetően változtatni. Ezzel szemben egy közel vízzoldhatatlan robbanóanyag esetében, mint a TNT, ezt nem tehetjük meg. Az olajos, apoláris oldószerek egyes leírások szerint káros hatással lehetnek a kutyák szaglására, míg egy poláros és apoláros résszel is rendelkező oldószert, mint az acetont, kifejezetten szúrós szagú lehet, amely a kísérletet zavarja. Ennek kiküszöbölésére olyan kísérleti elrendezéssel próbálkozunk, amelyben kihasználjuk az acetont nagyfokú illékonyságát. Az ammónium-nitrátos kísérleti leíráshoz hasonlóan egy ismert koncentrációjú TNT-aceton oldatot készítünk, amelyből egységnyi térfogatot (5 µl megfelel egy cseppnek) pipettával üveg tárgylemezre cseppentünk. Az acetont ilyen mennyiségben egy percen belül elpárolog és az oldott anyag marad vissza a tárgylemezen, minden csepp után egységes tömegben és egységes felülettel. Így a cseppentések számával arányosan növelhetjük a robbanóanyag szagintenzitását a próbák során.

Annak érdekében, hogy a kutyák nehegy segédszagként az oldószert használják kereséshez, a negatív rejtőedényekbe is azonos számban kell tiszta acetont cseppenteni és száritani. Mivel a szagok intenzitása idővel gyengül, így fontos, hogy a negatív mintákat is a pozitívakkal azonos időintervallumban készítsük, mert feltételezésünk szerint egy napokkal ezelőtt megszáradt acetoncsepp szagintenzitása nem hasonlítható össze egy frissen száradttal.

A fent leírt vizsgálatok a tanulmánykötet nyomtatása alatt még folyamatban vannak. A kezelés előtt és után meghatározott szaglási küszöbértékek alapján megállapítható lesz, hogy van-e szignifikáns hatása a szájhygiénának a keresési munkára. Amennyiben igen, akkor a robbanóanyag-kereső kutyák minőségbiztosításába szempontként kell felvenni a szájhygiénás állapot rendszeres ellenőrzését is.

HOGYAN ŐRIZHETŐ MEG A JÓ SZAGLÁSKÉSZSÉG A KUTYA EGÉSZ ÉLETE SORÁN?

- Korai vakcinázás: CDV, CPIV elleni oltás elengedhetetlen; ezek a fertőzések tartós anosmiát okozhatnak. [5][20]
- Fogászati kontroll: évenkénti szájhygiénás kezelés, mindennapi fogmosás (lepedékmentesítés az esti etetés után puha sörtéjű, vízzel nedvesített fogkefével), a parodontitis korai kezelése. [27][32]
- Optimális tápláltság: kondíciópontszám 4–5/9; [9] magas PUFA-bevitel (különösen linsav, EPA, DHA); kerülni a magas telítettszsír-tartalmú etetést; [34][36] az aktív szakaszt

megelőző 1–2 órás éhgyomri állapot előnyösebb a postprandiális olfaktorikus szupreszió elkerülésére [43] – egér modellen).

- Hidratáltság: minden szolgálati turnus elején, közben és után frissvíz-hozzáférést kell biztosítani; meleg időben páratartalom-növelés vagy hűtött mellény célszerű.
- Edzettség és fokozatosság: „Penn Vet Fit to Work” program [44] – kondicionálás csökkenti az úgynevezett „postexercise” olfaktorikus depressziót (terhelés utáni szagláscsökkenést).
- Tartós szteroid- és metronidazol-terápia kerülése; alternatívák választása vagy kezelés alatt munkából való kivonás. [4][9]
- Krónikus orrvádadozás kivizsgálása (rhinoszkopia, biopszia, CT) a tüneti kezelés helyett. [45]
- Olfaktorikus tréning: humán adatok alapján (Delgado-Lima és kutatótársai 2024 metaanalízis: $g = 0,755$) a strukturált illatexpozíció regenerálja az olfaktorikus pályát; munkakutyáknál a rendszeres, változatos szagprofilú gyakorlás megőrzi a piriformkéreg reaktivitását. [46]
- Toxikus expozíciók (cigarettafüst, oldószerek és dezinfekciós gőzök, illóolajos kondicionálók) minimalizálása a kennelben és a szállító járműben.
- Évenkénti vagy féléves szaglási küszöbértékteszt: az egyed saját, korábbi alapszintjéhez viszonyított detekciós küszöb mérés képes korai romlást jelezni.

KONKLÚZIÓ

A munkakutyák szaglási teljesítménye több, klinikai szempontból egymástól független mechanizmuson alapul (anatómiai integritás, nazális nyálkahártya-hidratáció, épszaglóhám-regeneráció, központi idegrendszeri feldolgozás, motiváció és kondíció). A jelenleg rendelkezésre álló vizsgálati adatok alapján kutyában a legszigorúbban kerülendő – legalábbis aktív szolgálat alatt – a szisztémás metronidazol és a nagy dózisú glükokortikoid adása. Az emberi farmakovigilanciai adatok alapján további szercsoportok (citosztatikumok, ACE-gátlók, antihisztaminok, foszfodiészteráz-gátlók, intranazális cink) is gyaníthatóan rontják a teljesítményt, de kutyán még nem vizsgálták ezeket. A nemfarmakológiai oldalon a fogágygyulladás, a krónikus orrnyálkahártya-gyulladás, a dehidráció, a hipertermia, a telített zsír domináns étrend és a megelőzhető gyulladásos állapotok érdemelnek kiemelt figyelmet. Egy szabványosított, longitudinális monitorozó protokoll – beleértve éves detekciós küszöbmérést, fogászati indexet és nazális mikrobiom-mintavételt – lehetővé tenné a szaglaskészség romlásának korai felismerését és az operatív veszteségek minimalizálását.

HIVATKOZOTT IRODALOM JEGYZÉKE

- [1] Jenkins E K. – DeChant M.T. – Perry E.B. (2018): *When the Nose Doesn't Know: Canine Olfactory Function Associated With Health, Management, and Potential Links to Microbiota*. Front Vet Sci. 5.(56).
- [2] Kokocińska-Kusiak A. – Woszczyło M. – Zybala M. et al. (2021): *Canine Olfaction: Physiology, Behavior, and Possibilities for Practical Applications*. Animals (Basel). 11.(8). p. 2463.

- [3] Bray E.E. – Otto C.M. – Udell M.A.R. et al. (2023): *A novel task of canine olfaction for use in adult and senior pet dogs*. Sci Rep. 23.(13). p. 2371.
- [4] Jenkins E.K. – Lee-Fowler T.M. – Angle T.C. – Behrend E.N. – Moore G.E. (2016): *Effects of oral administration of metronidazole and doxycycline on olfactory capabilities of explosives detection dogs*. Am J Vet Res. 77.(8). pp. 906–912.
- [5] Myers L.J. – Hanrahan L.A. – Swango L.J. – Nusbaum K.E. (1988a): *Anosmia associated with canine distemper*. Am J Vet Res. 49.(8). pp. 1295–1297.
- [6] Schluter A. – Sarber K.M. – Yan C.H. (2023): *Drug-induced olfactory and gustatory dysfunction: Analysis of FDA adverse events reporting system*. Auris Nasus Larynx. 50.(5). pp. 734–739.
- [7] Lötsch J. – Reichmann H. – Hummel T. (2000): *Olfactory disorders due to medications: analysis and review of the literature*. Schmerz. 14.(5). pp. 385–389.
- [8] Henkin R.I. (1994): *Drug-induced taste and smell disorders. Incidence, mechanisms and management related primarily to treatment of sensory receptor dysfunction*. Drug Saf. 11.(5). pp. 318–377.
- [9] AAHA. (2021): *AAHA Working, Assistance, and Therapy Dog Guidelines*. Lakewood, CO: American Animal Hospital Association; 2021.
- [10] Ezeh P.I. – Myers L.J. – Hanrahan L.A. – Kemppainen R.J. – Cummins K.A. (1992): *Effects of steroids on the olfactory function of the dog*. Physiol Behav. 51.(6). pp. 1183–1187.
- [11] Hura N. – Xie D.X. – Choby G.W. et al. (2020): *Treatment of post-viral olfactory dysfunction: an evidence-based review with recommendations*. Int Forum Allergy Rhinol. 10.(9). pp. 1065–1086.
- [12] Huat C. – Philpott C.M. – Altundag A. et al. (2021): *Systemic corticosteroids in COVID-19 anosmia*. Int Forum Allergy Rhinol. 11.(7). pp. 1041–1045.
- [13] Lin Y.-C. (2018): *The Acute Effects of Isoflurane and Propofol on the Olfactory-Cognitive Ability of Brown Root Rot Disease Fungus Detection Dogs* [PhD diss.]. West Lafayette: Purdue University; 2018.
- [14] Söbbeler F.J. – Carrera I. – Pasloske K. et al. (2018): *Effects of isoflurane, sevoflurane, propofol and alfaxalone on brain metabolism in dogs assessed by proton magnetic resonance spectroscopy (¹H MRS)*. BMC Vet Res. 14.(1). p. 69.
- [15] Lazarowski L. – Krichbaum S. – Waggoner L.P. – Katz J.S. (2019): *A Randomized Cross-Over Trial Comparing the Effect of Intramuscular Versus Intranasal Naloxone Reversal of Intravenous Fentanyl on Odor Detection in Working Dogs*. Animals. 9.(6). p. 385.
- [16] Kan Y. – Nagai J. – Uesawa Y. (2021): *Evaluation of antibiotic-induced taste and smell disorders using the FDA adverse event reporting system database*. Sci Rep. 21.(11). p. 9625.
- [17] Lötsch J. – Knothe C. – Lippmann C. et al. (2019): *Olfactory drug effects approached from human-derived data*. Drug Discov Today. 24.(3). pp. 891–899.
- [18] Doty R.L. (2015): *Olfactory dysfunction and its measurement in the clinic*. World J Otorhinolaryngol Head Neck Surg. 1.(1). pp. 28–33.
- [19] Jafek B.W. – Linschoten M.R. – Murrow B.W. (2004): *Anosmia after intranasal zinc gluconate use*. Am J Rhinol. 18.(3). pp. 137–141.
- [20] Myers L.J. – Nusbaum K.E. – Swango L.J. – Hanrahan L.N. – Sartin E. (1988b): *Dysfunction of sense of smell caused by canine parainfluenza virus infection in dogs*. Am J Vet Res. 49.(2). pp. 188–190.
- [21] Windsor R.C. – Johnson L.R. (2006): *Canine chronic inflammatory rhinitis*. Clin Tech Small Anim Pract. 21.(2). pp. 76–81.
- [22] Lobetti R. (2009): *A retrospective study of chronic nasal disease in 75 dogs*. J S Afr Vet Assoc. 80.(4). pp. 224–228.
- [23] Tress B. – Williams M.L. – Marra N.J. et al. (2024): *Host-microbe interactions in the nasal cavity of dogs with chronic idiopathic rhinitis*. Front Vet Sci. 24.(11). 1385471.
- [24] Mortier J.R. – Blackwood L. (2020): *Treatment of nasal tumours in dogs: a review*. J Small Anim Pract. 61.(7). pp. 404–415.

- [25] Tasker S. – Knottenbelt C.M. – Munro E.A. et al. (1999): *Aetiology and diagnosis of persistent nasal disease in the dog: a retrospective study of 42 cases*. J Small Anim Pract. 40.(10). pp. 473–478.
- [26] Meler E. – Dunn M. – Lecuyer M. (2008): *A retrospective study of canine persistent nasal disease: 80 cases (1998-2003)*. Can Vet J. 49.(1). pp. 71–76.
- [27] Schertel Cassiano L.P. – Abdullahi F. – Leite F.R.M. et al. (2024): *Self-reported periodontitis association with impaired smell and taste: A multicenter survey*. Oral Dis. 30.(3). pp. 1140–1153.
- [28] Inoue H. – Ono K. – Masuda W. et al. (2009): *Rheological properties of human saliva and salivary mucins*. J Oral Biosci. 51.(3). pp. 134–141.
- [29] Greabu M. – Battino M. – Mohora M. et al. (2016): *Could constant exposure to low concentrations of methyl mercaptan cause oral tissue alterations?* Biotechnol Biotechnol Equip. 30.(4). pp. 800–806.
- [30] Tian S. – Pourcerou M. – Henkin R.I. et al. (2024): *Periodontitis is associated with impaired olfactory function: A clinical study*. J Periodontol. 95.(3). pp. 238–247.
- [31] Isaiah A. – Hoffmann A.R. – Kelley R. et al. (2017): *Characterization of the nasal and oral microbiota of detection dogs*. PLoS One. 12.(9). e0184899.
- [32] Catton G. – Gardner A. (2022): *COVID-19 Induced Taste Dysfunction and Recovery: Association with Smell Dysfunction and Oral Health Behaviour*. Medicina (Kaunas). 58.(6). p. 715.
- [33] Hirai T. – Kojima S. – Shimada A. et al. (1996): *Age-related changes in the olfactory system of dogs*. Neuropathol Appl Neurobiol. 22.(6). pp. 531–539.
- [34] Simpson S.T. – Myers L.J. (1987): *Dysosmia caused by encephalitis in a dog*. J Am Vet Med Assoc. 191.(12). pp. 1593–1594.
- [35] Altom E.K. – Davenport G.M. – Myers L.J. – Cummins K.A. (2003): *Effect of dietary fat source and exercise on odorant-detecting ability of canine athletes*. Res Vet Sci. 75.(2). pp. 149–155.
- [36] Davenport G.M. – Kelley R.L. – Altom E.K. et al. (2001): *Effect of diet on hunting performance of English pointers*. Vet Ther. 2.(1). pp. 10–23.
- [37] Angle T.C. – Wakshlag J.J. – Gillette R.L. et al. (2014): *The effects of exercise and diet on olfactory capability in detection dogs*. J Nutr Sci. 14.(3). e44.
- [38] Wakshlag J.J. – Davenport G.M. – Snow E. et al. (2016): *The Effects of Varying Concentrations of Dietary Protein and Fat on Blood Gas, Hematologic Serum Chemistry, and Body Temperature Before and After Exercise in Labrador Retrievers*. Front Vet Sci. 16.(3). p. 90.
- [39] Gazit I. – Terkel J. (2003): *Domination of olfaction over vision in explosives detection by dogs*. Appl Anim Behav Sci. 82.(1). pp. 65–73.
- [40] Koskinen K. – Reichert J.L. – Hoier S. et al. (2018): *The nasal microbiome mirrors and potentially shapes olfactory function*. Sci Rep. 18.(8). p. 1296.
- [41] Maejima M. – Inoue-Murayama M. – Tonosaki K. et al. (2007): *Traits and genotypes may predict the successful training of drug detection dogs*. Appl Anim Behav Sci. 107(3–4). pp. 287–298.
- [42] Hall N.J. – Glenn K. – Smith D.W. – Wynne C.D.L. (2020): *Performance of pet dogs at the natural detection task*. PeerJ. 20.(8). e9404.
- [43] Aimé P. – Duchamp-Viret P. – Chaput M.A. et al. (2007): *Fasting increases and satiation decreases olfactory detection for a neutral odor in rats*. Behav Brain Res. 179.(2). pp. 258–264.
- [44] Farr B.D. – Ramos M.T. – Otto C.M. (2020): *The Penn Vet Working Dog Center Fit to Work Program: A Formalized Method for Assessing and Developing Foundational Canine Physical Fitness*. Front Vet Sci. 20.(7). p. 470.
- [45] Plickert H.D. – Tichy A. – Hirt R.A. (2014): *Characteristics of canine nasal discharge related to intranasal diseases: a retrospective study of 105 cases*. J Small Anim Pract. 55.(3). pp. 145–152.
- [46] Delgado-Lima A.H. – Bouhaben J. – Delgado-Losada M.L. (2024): *The efficacy of olfactory training in improving olfactory function: a meta-analysis*. Eur Arch Otorhinolaryngol. 281.(11). pp. 5267–5284.

SAJÁT KÉSZÍTÉSŰ ROBBANÓANYAGOK, ROBBANÓKÉPES ELEGYEK ÉS AZOK PREKURZORAINAK VEGYÉSZ-SZAKÉRTŐI ÁTTEKINTÉSE, CSOPORTOSÍTÁSA

CHEMICAL SYSTEM OF HOMEMADE EXPLOSIVES, ENERGETIC MIXTURES AND THEIR PRECURSORS

Dr. LAPAT Attila¹

ÖSSZEGZÉS

Jelen tanulmány egy hosszabb, a házi készítésű robbanóanyagokról szóló áttekintés első része, amely felsorolja és rendszerezi azokat az improvizált vagy házi készítésű anyagokat, keverékeket és prekursor vegyi anyagokat, amelyeket a közelmúltban világszerte bűncselekményekhez kapcsolódó robbantások során használtak. Ebben az első részben meghatározzuk az IED (improvizált robbanószerkezet) fogalmát: olyan, rögtönzött módon elhelyezett vagy előállított eszköz, amely romboló, halálos, káros, pirotechnikai vagy gyújtó hatású vegyi anyagokat tartalmaz, és amelynek célja a megsemmisítés, a harcképtelenné tétel, a zaklatás vagy a figyelemelterelés. Tartalmazhat katonai raktárakból származó anyagokat is, de általában nem katonai alkatrészekből készül. Az IE (improvizált robbanószer) vagy HME (házi készítésű robbanószer) a következőképpen definiálható: olyan robbanószer, amelyet prekursor vegyi anyagokból állítanak elő, akár fizikai keveréssel, akár kémiai reakcióval, nem ipari vagy laboratóriumi körülmények között. A prekursor vegyi anyagok olyan vegyi anyagok, amelyek keveréssel vagy kémiai reakcióval felhasználhatók HME előállítására. Általában az IED-t HME-ből állítják elő. A HME két fő összetevőből áll: egy oxidálószerből (oxigénforrás) és egy magas széntartalmú éghető anyagból. Tipikus oxidálószer a nitrátok, klorátok, perklorátok, permanganátok, peroxidok stb. Tipikus éghető anyagok az üzemanyagok, cukrok, fűrészpor (szerves), kén, alumínium, magnéziumpor (szervetlen) stb. Jellemző prekursorok a műtrágyák (nitrátok), egyes háztartási cikkek (savak, fagyálló folyadékok, glikolok) és a kempingfőző-üzemanyagok (hexamin).

Kulcsszavak: saját készítésű robbanóanyagok, robbanóanyag-prekursorok, improvizált robbanóeszközök, robbanóképes elegyek, kriminalisztikai vegyészszakértői vizsgálat.

ABSTRACT

The present paper is the first part of a longer overview on homemade explosives, which show enumerates and systematizes some improvised or homemade materials, mixtures, precursor chemicals used in criminal blasting events in the world recently. In this first part the concept of IED (Improvised Explosive Device) is defined: a device, placed or fabricated in an improvised manner incorporating destructive, lethal, noxious, pyrotechnic or incendiary chemicals and designed to destroy, incapacitate, harass or distract. It may incorporate from military storages, but is normally prepared from non-military components. IE (Improvised Explosive) or HME (Homemade Explosive) is defined as follows: an explosive produced from precursor chemicals, either physically blended or combined in a chemical reaction, not in industrial or laboratory circumstances. The precursor chemicals are defined as chemicals that can be used, through blending or chemical reaction, to

¹Robbanóanyag-analitikai szakértő, a hadtudomány PhD-fokozatos. E-mail: dr.lapat@gmail.com; ORCID: 0009-0006-8663-0514.

produce HME. In general, the IED is manufactured from HME. The HME consists of two main components: an oxidizer (source of oxygen) and a combustible material with high carbon content. Typical oxidizers are nitrates, chlorates, perchlorates, permanganates, peroxides, etc. Typical combustible materials are fuels, sugars, sawdust (organic), sulphur, aluminium, magnesium powder (inorganic) etc. Typical precursors are fertilizers (nitrates), some household goods (acids, antifreezes, glycols), camp stove fuels (hexamine).

Keywords: *homemade explosives, explosive precursors, improvised explosive devices, energetic mixtures, forensic chemical investigation.*

BEVEZETÉS

A kereskedelemben kapható különféle termékek széles választéka áll rendelkezésre ahhoz, hogy házilagosan is el lehessen készíteni robbanóképes anyagokat. Szerkezetileg két nagyobb részben próbálom összefoglalni a címben jelzett tartalmat, melyek részleteiben tartalmazzák a *releváns vegyületek* bizonyos szempont szerinti rendszerezését.

A tanulmányban összefoglalom a teljesség igénye nélkül a házilagos készítésű, vagy improvizált, összefoglaló néven *saját készítésű robbanóanyagok, robbanóképes elegyek* (HME, angol rövidítés) sajátosságait kémiai szempontból. Tárgyalom az előállításukhoz szükséges *prekurzorokat* (kiindulási anyagok). A prekursorok rövid összegzését, felsorolását [1] hozzáférhetőségüket a köznap életben. Prekursorok alatt a HME keverékek komponenseit, a komponensek és az egyedi vegyületek kémiai reakcióval történő előállításának kiindulási vegyületeit értem. Jelen tanulmányban a nemzetközi szakirodalomban (elsősorban az angol nyelvterületen) előforduló fogalmak, elnevezések magyar nyelvű értelmezését próbálom a hazai szakmai körökben közzétenni, elterjeszteni a saját tapasztalataim alapján. Ehhez alapot adnak az ebben a témakörben korábban megjelent hazai publikáció is. [2]

Célul tűztem ki megvizsgálni azokat az okokat, amelyek a szakembereket, illetőleg a nem feltétlenül törvényes felhasználókat, bűncselekményekben szereplőket arra készíteték, hogy viszonylag egyszerű módon, meglévő vegyszerekből, kemikáliákból robbanóképes anyagokat állítsanak elő, szem előtt tartva a hatékonyságot és a biztonságos kezelést. Ennek megfelelően hosszabb fejezetet szentelek a történeti áttekintésnek az első részben. Rámutatok, hogy ezek a 19. század közepe, vége felé zajlott kísérletek eredményei a jelen, vagy közelmúlt terror cselekményeiben alkalmazott robbanóképes keverékekben elég jól nyomon követhetők.

Továbbá fontosnak tartottam felhívni a figyelmet jó néhány jelre, amely megkönnyítheti a kérdéses anyagok felismerését a katonai és rendvédelmi szervek részére a veszélyhelyzet meglétére, a felderítési és nyomozati munka során.

A témakörben használatos fogalmak, elnevezések értelmezését próbálom tisztázni, történeti áttekintést nyújtok az elmúlt évtizedek kapcsolódó kutatásairól, kísérleteiről.

A közleményben alapvetően az alábbi fő szempontokat tartom szem előtt:

- vizuális felismerhetőségüket;
- előállításukhoz szükséges vegyületek (továbbiakban: prekursorok) kémiai elnevezését;
- előállítási módjukat (egyszerű kémiai reakciók alkalmazása, kész anyagok fizikai keverése), szükséges eszközöket, berendezéseket;
- kereskedelmi alkalmazásukat.

FOGALMAK, ELNEVEZÉSEK ÉRTELMEZÉSE

Az angolszász szakirodalom *improvised explosive device* (IED) kifejezést használ azoknak a robbantásra alkalmas szerkezeteknek a megjelölésére, amelyeket a merényletek céljára saját elképzelés szerint terveznek rögtönzött módon, és készítenek a kereskedelembe beszerezhető anyagokból. Ez azt jelenti, hogy ezek nem tartoznak a szabvány katonai, ipari robbanószerkezetek (gránátok, aknák stb.) körébe, viszont élénk fantáziáról tesznek tanúbizonyságot a robbantásos bűncselekmények kivizsgálása során rekonstruált körülmények tisztázása kapcsán felfedett részletek elemzése szerint. Az elnevezés találó, magyar nyelvre is egyértelműen jól fordítható (*rögtönzött robbanóanyag-szerkezet*), néha a pokolgép kifejezés is előfordul közleményekben.

Az IED akár egy katonai robbanószerkezet átalakítása, átszerelése, valamely alkatrészre felhasználásával is készülhet. A szerkezetek az alábbi funkcionális elemeket tartalmazzák:

- robbanótöltet: robbanó- és robbanóképes anyagok vagy azok keverékei, illetve nem robbanóanyag-kategóriába tartozó kémiai anyagok, amelyek megfelelő arányú elegyei robbanóképessé válnak;
- gyújtószerkezet;
- detonátor (ha szükséges);
- áramforrás (elektromos indítás esetén);
- előbbieket tároló eszköz (konténer).

A témakörhöz kapcsolódó hazai szakirodalomból fontosnak tartom kiemelni Mueller Othmár *Korszerű szükséganyagokból készített robbanószerkezetek alkalmazásának és hatástalanításának sajátosságai, a jövőbeni fejlesztés irányai a terrorizmus figyelembevételével* című kandidátusi értekezését. [3] Ebben az alábbi elnevezések találhatók:

- SRE saját készítésű robbanószerkezet;
- SRA saját készítésű robbanóanyag;
- SIE saját készítésű iniciálószerkezet;
- KRE katonai robbanóeszköz;
- RCS robbanócsapda;
- SA segédanyagok;
- SL Selbstlaborate (saját készítmény);
- USBV Unkonventionelle Spreng- und Brandvorrichtung (nem szokványos robbanó- és gyújtóeszköz).

A hazai terminológia egységesítése érdekében indokolt kiemelni, hogy Daruka Norbert doktori értekezésében [4] az improvizált robbanóeszköz fogalmát a nemzetközi NATO- és angolszász szakirodalom, valamint a hazai tűzserészeti és igazságügyi szakértői gyakorlat összevetésével pontosította. A meghatározás szerint „az improvizált robbanóeszköz olyan, katonai robbanóttestekből, katonai vagy ipari robbanóanyagokból, illetve detonáció kiváltására alkalmas saját készítésű robbanóanyagokból, vagy ezek kombinációjával rögtönzött módon összeállított és/vagy elhelyezett, rombolásra, mozgásképtelenné tételre vagy zavarkeltésre szánt szerkezet, amely halálos, egészségre ártalmas pirotechnikai vagy gyúlékony vegyi anyagokat, valamint CBRN-alkotóelemeket is tartalmazhat.” [5] E fogalomalkotás az elmúlt évtizedben széles körben elfogadottá vált a hazai szakirodalomban, és

napjainkban is ezt a definíciót alkalmazzák a magyar katonai, rendvédelmi és igazságügyi szakmai terminológiában.

Az IED-ban alkalmazott robbanóképes anyagokkal kapcsolatban el kell mondani, hogy azok nem feltétlen csak az elkövetők által saját, házilagos készítésűek lehetnek, hanem igen gyakori az eltulajdonított katonai robbanóanyagok (pl. TNT, RDX), [6] vagy ipari célra gyártott robbanóanyagok alkalmazása is.

A nemzetközi szakirodalomban, szakmai körökben az IED mintájára kialakult az *improvised explosive* (IE), illetőleg a *homemade explosive* (HME) megnevezés is a robbanótölteteket illetően. Magyar nyelven a *rögtönzött robbanóanyag*, valamint a *házi készítésű robbanóanyag* kifejezés terjedt el. Az előbbi használatával inkább az amerikai közleményekben találkozhatunk gyakrabban, míg az utóbbi az európai szakemberek angol nyelvű publikációiban elterjedtebb. Véleményem szerint az IE kevésbé takarja jól a szándék szerinti elnevezést, hiszen itt valójában kész előállítási receptek állnak rendelkezésre, amelyek egyszerűen megvalósíthatók, nem saját kútfőből kell kémiai reakciókat konstruálni.

Mindamellet a fent említett robbanóanyagok is, egy megfelelő körülményeket biztosító házi laboratóriumban, adott minőségben előállíthatók. Ha ezt feltételezzük, akkor érdemes a problémakört abból a szempontból vizsgálni, hogy a házilag előállítani kívánt robbanóképes anyaghoz (egynemű robbanóanyag vagy -keverék) milyen kiindulási anyagok (prekurzorok) szükségesek, illetve azok milyen módon szerezhetők be, a kereskedelemben hozzáférhető-e. Konkrét receptek megadására nem törekedtem, illetőleg a házilag leg egyszerűbben készíthető robbanóanyagok és robbanóképes elegyek esetében az előállításra vonatkozóan adtam információkat.

A házilagos előállítás esetén igen lényeges, hogy egynemű robbanóanyagot szándékoznak készíteni kémiai reakció(k) alkalmazásával, vagy meglévő anyagok egyszerű fizikai összekeverésével nyerik a robbanóképes elegyet. Az első eset természetesen lényegesen nagyobb szakmai (kémiai) felkészültséget, technikai felszereltséget (jellemzően laboratóriumi eszközök) feltételez, mint az utóbbi.

Ezeket figyelembe véve próbálom rendszerezni a nemzetközi és hazai nyomozati és szakértői tapasztalatok alapján látókörbe került saját készítésű, lefoglalt vagy robbantásos merényletekben felhasználásra került, vagy potenciálisan felhasználható robbanóanyagokat, természetesen a teljesség igénye nélkül. [2]

Ha az IED-k készítése során robbanótöltetként nem áll rendelkezésre gyárilag készített, akár katonai, akár ipari felhasználású robbanóanyag, számos lehetőség nyílik robbanóképes keverékek előállítására viszonylag könnyen beszerezhető anyagok megfelelő arányú összekeveréséből. Természetesen ezeknek a robbanásfizikai tulajdonságai (detonációsebesség, munkavégző képesség stb.) nem lesznek olyan kedvezők, mint pl. a gyári szabvány robbanóanyagokéi, de az alapanyagok hozzáférhetősége lehetővé teszi nagyobb mennyiségek előállítását, amivel a kívánt romboló hatás fokozható. Általában ezek az *alacsony hatóerejű (toló hatású)* robbanóanyagok közé sorolhatók.

Alapvetően a robbanóképes keverékek előállításához két típusú anyag szükséges: *oxidálószer* és az oxigénnel könnyen reakcióba lépő *éghető anyag*. Oxidálószerként leggyakrabban a szervesetlen nitrátok, klorátok, perklorátok, permanganátok jöhetnek szóba, míg éghető anyagként szén vagy magas széntartalmú anyagok (pl. dízelolaj, cukrok, liszt, fűrészpor), illetőleg por alakú fémek (pl. alumínium, magnézium), valamint nem fémes elemek (pl. kén, foszfor).

Ezeket a robbanóképes keverékeket célszerű oxidálószer-komponens szerint csoportosítani, de természetesen egyéb alapon történő felosztás is követhető. Mivel nem egynemű robbanóanyagokról, vegyületekről van szó, elnevezésük a komponensek angolszász vagy magyar nevéből alkotott mozaikszó alapján történik (ANFO, ANDO), vagy valamilyen fantázianeveük terjedt el (pl. feketelőpor, flash powder). Sok esetben az elnevezés nem feltétlen egy konkrét elegyre vonatkozik, hanem annak fajtájától függhet.

Az IED akár egy katonai robbanószerkezet átalakításával, átszerelésével, valamely alkatrészének felhasználásával is készülhet. A szerkezetek az alábbi funkcionális elemeket tartalmazzák:

- robbanóképes anyag vagy robbanótöltet (különböző típusú robbanóanyagok, illetve azok keverékei, valamint nem robbanóanyag-kategóriába tartozó kémiai anyagok);
- gyújtószerkezet;
- detonátor (ha szükséges);
- áramforrás (elektromos indítás esetén);
- az előbbieket tároló eszköz (konténer).

Az IED házilag készített, azaz nem üzemi körülmények között összeállított robbanószerkezet, tartalmaz egy álcázó külső burkolatot, áramforrást, indítószerkezetet, robbanóanyag-töltetet, iniciálószerkezetet és egy biztosítószerkezetet. [7] A külső álcázó burkolat a leggyakrabban beilleszkedik abba a környezetbe, ahol ezt alkalmazni akarják. Honvédségi tájékoztatók szerint Afganisztánban például preparált köveket, szemétkupacokat, állattetemekeket használtak az elrejtésükre. [8] Ezek az eszközök az esetek nagy többségében elektromos indításúak, így amennyiben a pokolgép alkalmazása hosszabb időt vesz igénybe, akkor a készítőnek gondoskodnia kell tartós áramforrásról is. Erre a célra általában akkumulátort szoktak használni, de ez az eszköz rejtését nagyban nehezíti. Az eszközök mérete a kívánt pusztító hatás elérésétől is függ: a gyufásdoboztól a teherautóig változhat. Telepítési szempontból megkülönböztetünk mobil, illetve helyhez kötött improvizált robbanóeszközöket. A helyhez kötötteket általában távirányítással hozzák működésbe, amikor a mozgó célpont a jelölt helyhez érkezik; a mobil eszközöket pedig a célponthoz juttatva működtetik el. [2]

A házi készítésű robbanóanyagok tűzszerészeti szempontból a legveszélyesebbek, mert összetételük ismeretlen, sok esetben akár instabil és nem kezelésbiztos. Csak laboratóriumi körülmények között lehet minden kétséget kizáróan megállapítani az összetételüket. [7]

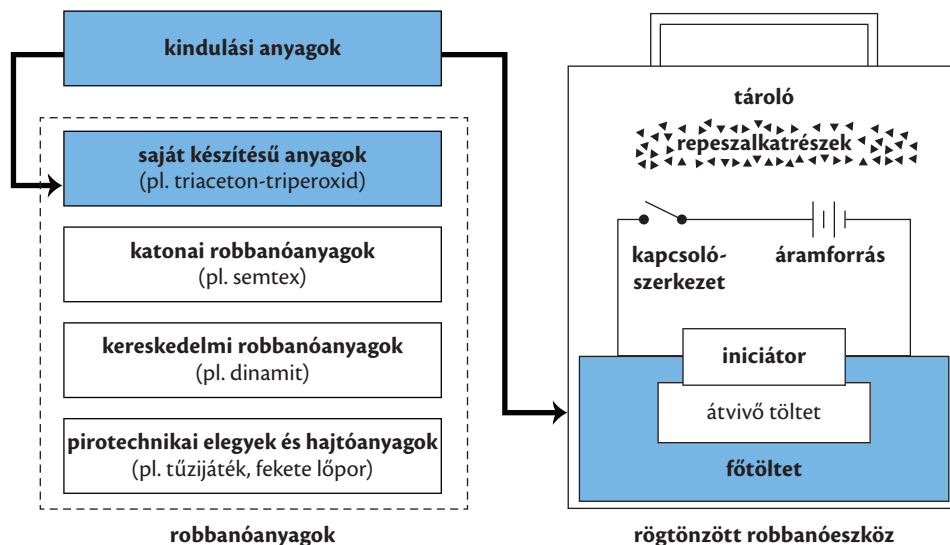
Az ipari vagy katonai felhasználású robbanóanyagok beszerzése eléggé nehézkes (főként Európában), különösen mióta bevezették a robbanóanyagok nyomonkövethetőségét. Még az igen jól működő bünszervezetekben is komoly felkészültséget, illetve kockázatot jelent egy-egy „gyári” robbanóanyag megvásárlása. Leginkább a háborús térségekben találhatunk temérdek számú robbanóanyagot, robbanótestet, raktárakba halmozva, de azoknak az Európai Unióba történő bejuttatása körülményes és költséges. [5][8]

Az IED-ben alkalmazott robbanóképes anyagokkal kapcsolatban el kell mondani, hogy azok nem feltétlenül csak az elkövetők által házilag készíttetek lehetnek, hanem igen gyakoriak az eltulajdonított katonai robbanóanyagok (pl. TNT, RDX) vagy ipari célra gyártott

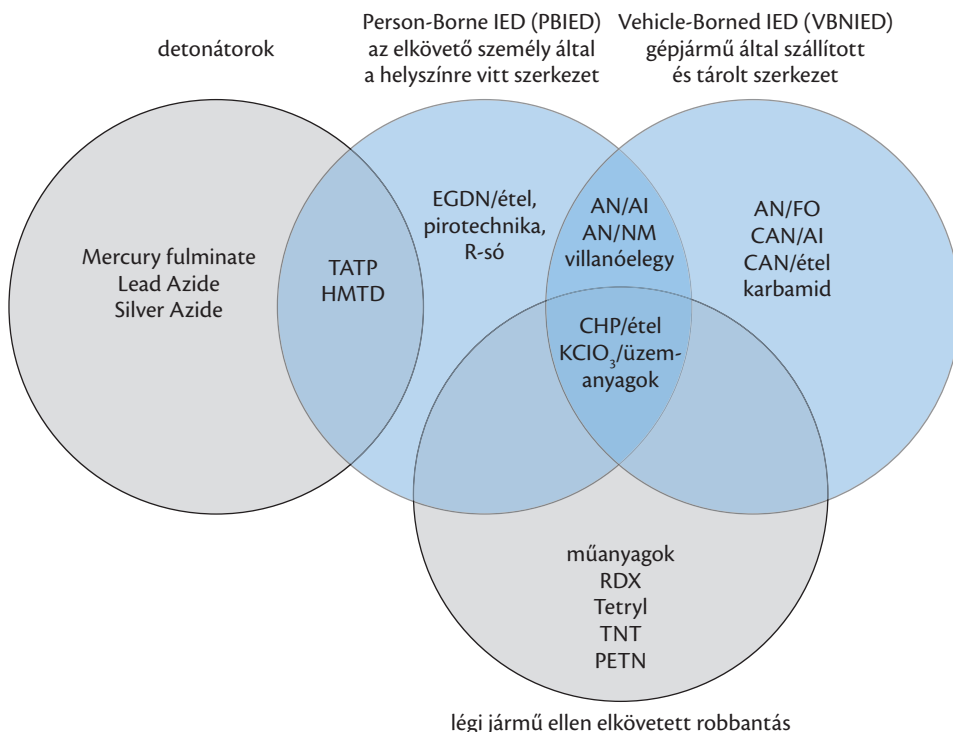
robbanóanyagok is. Az említett robbanóanyagok előállítása, elsősorban a reakciókörülmények (hőmérséklet, nyomás) pontos betartása miatt, eléggé bonyolult. Éppen ezért nem sorolandók a HME-k közé, mivel házilag elég nehéz biztosítani az előállításukhoz szükséges körülményeket. Régebbi hazai szakértői tapasztalatok azonban azt bizonyítják, hogy kísérletek történtek erre. Egy esemény kapcsán a házi laboratóriumban történt mintavétel utáni vizsgálatok igazolták, hogy RDX előállítására történtek kísérletek, de csak nyomokban volt kimutatható a robbanóanyag.

Figyelembe veendő, hogy fizikai keveréssel különböző összetételű elegyeket lehet létrehozni, amelyeket a lehetőségek, illetve a robbanásfizikai tulajdonságok módosítása határoznak meg. Amennyiben improvizált robbanószerkezet kialakításához nem áll rendelkezésre gyári katonai vagy ipari robbanóanyag, alternatívát jelenthetnek a könnyebben hozzáférhető alapanyagokból előállított robbanóképes anyagok. Ezek jellemzői és hatásmechanizmusa eltérhet a szabványosított robbanóanyagokétól, ugyanakkor hozzáférhetőségük biztonsági kockázatot jelenthet. A kérdés vizsgálata ezért elsősorban arra irányul, hogy az ilyen anyagok előállításához felhasználható prekursorok milyen körben és milyen módon érhetők el a kereskedelmi forgalomban. A beszerezhetőség, a kereskedelmi hozzáférhetőség, a házilag előállítás nehézségi fokának jelzésére a következő részben részletesen kitérek; mindemellett néhány konkrét recept megadását is célul tűztem ki.

Előzetesen a jelen közleményben az 1. ábrán mutatok be egy tipikus IED-összeállítást, a benne felhasználható robbanótöltetekkel. A bal oldali rész illusztrálja a szerkezetekben általában alkalmazott robbanóképes anyagok típusait. Ezek lehetnek a kereskedelemben könnyen beszerezhető kiindulási anyagokból saját készítésű anyagok (pl. triaceton-triperoxid), katonai (pl. Semtex), kereskedelmi (pl. dinamit) robbanóanyagok, pirotechnikai elegyek és hajtóanyagok (pl. tűzijáték, fekete lőpor). Jobb oldalon magát a működtető berendezést láthatjuk. Alul a fő töltet, átvivőtöltet és az iniciátor mint robbanóanyag-komponensek



1. ábra. Egy tipikus IED-összeállítás [szerkesztette a szerző (1; 10. o.) ábra alapján]



2. ábra. Történeti példák robbanóanyag-töltetek bűnös célú alkalmazásaira, nem csak tipikusan saját készítésű robbanóanyagokat jelölve [szerkesztette a szerző (1; 31 o.) ábra alapján]

vannak feltüntetve. Az ábra felső részén az áramforrás és a kapcsolószerkezet látható, amely különféle módokon hozható működőképes állapotba. Sok esetben az IED-ben repeszalkotórészek is felfedhetők. Az egész rendszer egy megfelelő tárolóalkalmatosságban van összeépítve.

A 2. ábrán látható angol kifejezések, rövidítések:

- Person-Borne IED (PBIED): az elkövető személy által helyszínre vitt szerkezet;
- Vehicle-Born IED (VBNIED): gépjármű által szállított és tárolt szerkezet;
- Aircraft Bombings: légi jármű ellen elkövetett robbantás;
- TATP: triaceton-triperoxid, HMTD: hexametilén-triperoxid-diamin; EGDN: etilén-glikol-dinitrát; AN: ammónium-nitrát; NM: nitrometán; CHP: tömény hidrogén-peroxid; KClO₃: kálium-klorát; R-salt: ciklotrimetilén-trinitrozamin; Urea Nitrate: karbamid, CAN: kalcium-nitrát, műanyagok;
- Élelmiszeripari termékek (cukorvegyületek, porok, úgy mint bors, paprika, kakaó, őrölt kömény stb.).

Ahol rendelkezésre állnak adatok, ott közlöm az anyagok HAZMAT (Tűzvédelmi és Biztonságtechnikai rendszer) besorolását. A HAZMAT alapvetően magyar alapítású és bejegyzésű, de különféle speciális információt szolgáltatató kapcsolódó rendszer (pl. HAZMAT Assist) működik Európa-szerte.

Az FBI Intelligence Bulletin 105 (2004. január 7.) összefoglalót ad számos jól ismert általános HME készítéséhez alkalmas anyagról. Kevésbé ismert anyagokról az USA Közlekedési Minisztériuma által közzétett ERG (Emergency Response Guide) ad rövid leírást.

TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS

Házi készítésű robbanóanyagokkal elkövetett ismertebb bűncselekmények

- 1993. New York, World Trade Center robbantás, karbamid-nitrát 600 kg;
- 1995. Oklahoma City, Alfred P. Murrah Federal Building robbantás, ammónium;
- nitrát/nitrometán 2500 kg;
- 2005-7/7 London, Underground robbantás, tömény hidrogén-peroxid/fekete bors 10 kg;
- 2005-7/21 London, robbantás, tömény hidrogén-peroxid/liszt 10 kg;
- Paris, robbantás, TATP 10 kg;
- Brüsszel, robbantás, TATP 20kg;
- Sri Lanka, húsvéti robbantások, TATP.

1871-ben Herman Sprengel szabadalmaztatott több bányászati robbanóanyagot, amelyek erős oxidálószerket és jól éghető szerves anyagokat tartalmaztak. [9] A robbanóanyag-gyártás területén ennek újszerűsége abban állt, hogy az önmagukban nem robbanóanyagként számon tartott összetevők külön-külön biztonságosan tárolhatók, fizikai műveletekkel (keverés, adalékanyagok hozzáadása) végfelhasználásra könnyen előkészíthetők. Ezt követően megfelelő iniciátorok alkalmazásával indíthatók. Figyelembe véve a bányászati oktatást, az 1800-as évek végéig a robbanóanyagok elkülönítése igen elővigyázatos, körültekintő intézkedéseket követelt meg. Sprengel egyebek között felhasznált kálium-klorátot, tömény salétromsavat, folyékony nitrogén-oxidot mint oxidálóanyagokat; nitro-benzolt, nitro-naftalint, pikrinsavat (amelyek önmagukban is robbanóanyagok), és szén-diszulfidot, petróleumot alkalmazott intenzíven égő anyagként. Az évek során számos recept készült, amelyek salétromsav-alapúak voltak. Általában a füstölő salétromsavat (vízben oldott, 90% feletti töménységű salétromsav) használták fő komponensként. Oxanite fantázianévvel vált ismertté a pikrinsav (58%) és a salétromsav (42%) keveréke; Hellhofite néven a nitro-benzol (28%) és a salétromsav (72%) elegye. Ezek a robbanóanyagok elég hatékonynak bizonyultak, például a Hellhofite a TNT robbanóképességének mintegy 70%-ával rendelkezik, és könnyebben iniciálható. Úgy tűnt, hogy a korábbi gyakorlatot egy jó elképzelés módosította. A fő hátránya azonban ezeknek az elegyeknek az, hogy a salétromsav nagyon korrozív, veszélyes vele dolgozni a fojtó füstölgésből és a felszabaduló nitrozus gázokból adódóan, és különféle égési folyamatokban is aktívan részt vesz. Ráadásul az abban az időben alkalmazott rézhüvelyű gyutacsok a korábban alkalmazott robbantások indításában felhasznált fulminátok és a réz reakciója miatt okoztak problémákat. Nehéz meghatározni a szakemberek számára egy robbanóanyag detonációjának pontos idejét, kimenetelét.

Számos kísérletet végeztek a salétromsav okozta problémák kiküszöbölése céljából. Abban az időben a dinamit volt jól értelmezhető, változatos összetételű, diatómaföldben

(Kieselguhr) elnyeletett nitroglicerinnél álló robbanóanyag. Kísérletek folytak Hellhofite elnyeletésére is diatómaföldben. A füstölgő jelenség ugyan csökkent, de a töltet továbbra is károsította a csomagolóanyagot, valamint korrozív volt fémre, fűrészporra és az emberi bőrre is. A salétromsav-alapú robbanóanyagok feledésbe merültek a kimondottan veszélyes kezelésük és erős oxidálótulajdonságaiknak köszönhetően.

Sprengel második kísérleti oxidálószer a folyékony nitrogén-dioxid volt, amelynek még kevesebb gyakorlati alkalmazása valósult meg. 1881-ben Turpin kísérletezett az általa Panclasty fantáziánévvel jelzett több, változó összetételű anyaggal. Ezek folyékony nitrogén-dioxid, gázolaj, szén-diszulfid, nitro-benzol keverékei voltak, melynek mindegyike nagyon érzékeny volt bármiféle iniciálásra. A különféle kompozíciók változatai az első világháború hadviselése során kerültek alkalmazásra francia eredetű régebbi termékekből, melyek kevésbé voltak hatékonyak a TNT-hez képest. A folyékony nitrogén-dioxidból és gyúlékony anyagokból álló robbanóanyagokat egymástól elkülönítve készítették, tárolták. Egy megfelelő keverőt működésbe hozva a két komponens összekeverhető volt. A komponensek közvetlen egymásra hatása elég volt ahhoz, hogy denotációt váltson ki. Említésre érdemes, hogy az 1850-es években egy rövid ideig alkalmazni próbálták a nitrogén-dioxid alapú elegyeket külszíni bányáknál végrehajtott robbantásokban, de ezek a keverékek gyakorlati szempontból nehezen voltak használhatók.

Történeti szempontból Sprengel legsikeresebb fejlesztése a kálium-klorát alapú robbanóanyagok előállítását volt. A klorátvegyületek nagyon jelentős szerepet töltek be robbanóanyag-keverékek komponenseként. A Rack-a-Rock fantáziánévű anyag volt erre a legjobb példa, amely 21 rész nitro-benzolból és 79 rész kálium-klorátból állt. 1885-ben kb. 42 font dinamit és 240–300 font Rack-a-Rock alkalmazásával robbantottak a Hell Gate Channelnél a New York-i kikötőben. A francia eredetű töltények különböző összetételben tartalmaztak kálium-klorátot, amelyek az alábbi kompozíciók voltak:

- kálium-klorát és mangán-dioxid (80-95%) belemerítve nitro-benzol, terpentin és naftalin (50%-20%-30%) keverékébe;
- nitrobenzol és terpentin (80-20%-os) elegye elnyelve kálium-klorát és kálium-permanganát (70-30%-os) keverékében.

Az előbbi példában a kálium-klorát bonyolult mechanizmusú bomlásának katalizálására használták a mangán-dioxidot. Megjegyzendő, hogy az említett keverék már önmagában sem kezelésbiztos. Az utóbbi példában szereplő kálium-permanganát oxidálószerként önmagában is részt vehet különféle improvizált robbanóanyagok alkotórészeként.

A Sprengel által használt gyúlékony anyagok többsége nagy energiatartalmú szénhidrogén volt. A klorátalapú keverékek dörzs- és ütésérzékenyek, bár kevésbé, mint a nitrogén-dioxid alapú rendszerek. Az érzékenység kiküszöbölésére kis energiatartalmú szénhidrogének hozzáadásával, úgynevezett flegmatizálással (olajadalék hozzáadásával történő érzéketlenítés) próbáltak megoldást találni.

A dörzsölés okozta nem kívánt iniciálást meglehetősen nehéz teljes mértékben elkerülni, ha szilárd anyagokat keverünk, szállítunk vagy egyéb módon kezelünk. Kenőanyagok alkalmazásával ez jelentősen csökkenthető, mivel a kristályok közt létrejövő hőt elvezetik, ezzel csökkentve a reakció megindulásának lehetőségét. Kezdetben a klorátkeverékek flegmatizálására ricinusolajat használtak, mely alacsony áron hozzáférhető volt. A Cheddite néven elhíresült robbanóképes keverékek (bizonyos lőszerek töltetei) tartalmazták

különböző arányban a fent említett olajat. Például: kálium-klorát (80%), nitronaftalin (12%) és ricinusolaj (8%), vagy nátrium-klorát (79%), dinitro-toluol (16%) és ricinusolaj (5%).

Bár a nátriumot és a káliumot rokon elemekként ismerjük, a kálium-klorát gyakrabban kerül említésre a robbanóanyagokkal kapcsolatos szakirodalomban. Robbanóképesség tekintetében a nátrium-klorát hatékonyabbnak bizonyult, jelzi ezt a magasabb relatív oxigénegyenleg, amely 45,1%, szemben a kálium-klorát 39,2% értékével. A nátrium-kloráttal azonban az a probléma, hogy túl higroszkópos anyag, és az ezen alapuló keverékek könnyen nedvessé válnak, ezáltal megnehezítik azok iniciálását. A korábban említett ricinusolaj mellett a klorátalapú elegyek érzéketlenítését az energiadús szerves anyagok arányának csökkentésével, kiküszöbölésével oldották meg különféle gyanták, petróleum, paraffin, vazelin, kátrány alkalmazásával. Ezek az összetevők a Steelite fantázia nevet viselő kompozíciókra jellemzők: például kálium-klorát (75%) és gyanta (25%); illetve kálium-klorát (79,3%), gyanta (15,9%) és alumínium (4,8%). Meg kell jegyezni, hogy az utóbbi példában szereplő alumínium (Al) nagy valószínűséggel pótolja azokat a kedvező tulajdonságokat, amelyekkel a gyúlékony hatású, energiadús anyagok rendelkeznek, viszont az ilyen jellegű elegyek eléggé érzékenyek dörzsöléssel, ütéssel és sztatikus kisüléssel szemben.

Több kutató a maximális elővigyázatosságot szem előtt tartva a gyúlékony hatású, energiadús anyagok nem kívánatos hatásait kiküszöbölve flegmatizáló anyagokat alkalmaz. E módszer egyik klasszikusa a Minelit-sorozat: például kálium-klorát (90%), nehéz petróleum (3%) és paraffin (7%); illetve kálium-klorát (90%), vazelin (3%) és paraffin (7%). A kezdetekben kenőanyagként használt petróleumot később a vazelin váltotta fel, mely a gyúlékony anyag funkcióját is betöltötte. Leszögezhetjük, hogy a kloráttípusú elegyek érzékenységét lehetett csökkenteni bizonyos mértékig, de végül a biztonságosabb, jóval megbízhatóbb robbanóanyagok léptek a helyükbe.

Ahogy a klorátok fokozatosan eltűntek a robbanóképes elegyek palettájáról, egyre nagyobb szerepet játszottak a pirotechnikai iparban. Napjainkig is számos kereskedelmi pirotechnikai felhasználású villanóelegy tartalmaz kálium-klorátot és alumíniumot. A visszatérő probléma a túlzott érzékenység, amely számos ipari balesetnek volt az előidézője világszerte (pl. Hollandia). Idővel számos olyan elegyet kezdtek el gyártani, amelyekben kálium-perklorátot alkalmaztak, ami kevésbé szenzitív, mint a klorátvegyületek.

Néhány könnyen beszerezhető, HME készítéséhez felhasználható prekursor:

- salétromsav (nitrátalapú készítmények);
- kénsav (nitrátalapú készítmények);
- kálium-nitrát, nátrium-nitrát (feketelőpor);
- kálium-klorát (pirotechnikai termékek, robbanóelegyek, villanóporok);
- nátrium-klorát (pirotechnikai termékek, robbanóelegyek, villanóporok);
- nátrium-perklorát (robbanóanyagok, feketelőpor-helyettesítő elegyek);
- kálium-perklorát (feketelőpor helyettesítő);
- ammónium-perklorát (hajtóanyagok);
- káliumpermanganát (pirotechnikai keverékek, alacsony hatékonyságú robbanóanyagok);
- kén (feketelőpor);
- alumínium (gyúlékony fémporok villanópor);
- hidrogén-peroxid (TATP, HMTD, MEKP);
- hexamin, más néven urotropin (HMTD);

- aceton (TATP, HMTD, MEKP);
- alkohol (oldószer különböző preparatív munkához);
- sósav (TATP, HMTD, MEKP);
- citromsav (TATP, HMTD, MEKP);
- glicerín (nitroglicerín, NG);
- etilénlikol (etilénlikol-dinitrát, EGDN);
- eritritol (eritrit-tetranitrát, ETN);
- faszén (feketelőpor lőpor).

Az egyik legrégebbi és a szó rossz értelmében méltán elhíresült robbanóanyaggal kapcsolatos bűncselekmény Guy Fawkeshez és társaihoz fűződik. 1605-ben megkísérelték felrobbantani a Westminster Palotát, és egyben megölni Anglia akkori királyát, I. Jakabot. A robbanóanyag feketelőpor volt: kálium-nitrát (oxidálószer), szén és kén (éghető anyagok) keveréke, amelyek ugyan készen beszerezhetők voltak akkortájt, de házilag is könnyen el lehetett készíteni őket.

Az 1880-as években az ír republikánusok robbantásos cselekményeiben jelent meg a dinamit elnevezésű, a Nobel család által megalkotott robbanóanyag, amelyet Írországból és az Egyesült Királyság területén is alkalmaztak. Valójában a dinamit különböző formájának bűncselekményekben történő alkalmazása a 19–20. század fordulóján terjedt el. Az 1960-as évek végén feléledt az ír republikánus terroristák tevékenysége az Egyesült Királyság területén az észak-írországi problémák mielőbbi megoldása érdekében. A mozgalom kezdetén elsősorban ammónium-nitrát (oxidálószer) és nitro-benzol (energiagazdag éghető anyag) keverékét alkalmazták robbantásos merényleteik során. Később oxidálószerként megjelent a nátrium- és a kálium-klorát, éghető anyag gyanánt pedig a különféle mono- és diszacharidok (cukorvegyületek), valamint a már kereskedelemben kapható (polgári felhasználású) ammónium-nitrát- és gázolaj-kompozíciók. Az ír terroristamozgalom aktív tevékenységének vége felé, az 1990-es években robbanóanyag-töltetként leggyakrabban ammónium-nitrát és különféle cukrok nagy tömegű keveréke volt jellemző, amit járművek felhasználásával készített improvizált robbanószerkezetekbe építettek be.

Mielőtt rátérnénk a napjaink bűncselekményeiben (elsősorban terroristamerényletekben) alkalmazott saját készítésű robbanóképes elegyek részletesebb taglalására, érdemes történelmi szempontból visszatekinteni a gyakran alkalmazott peroxidtípusú robbanóanyagokra [10]. Bár nagyon sok szerves peroxidvegyület létezik, csak egy kis részük készíthető detonációra, mégpedig azok, amelyek a primer (iniciáló) robbanóanyagok kategóriájába sorolhatók. Kémiai szerkezetüket tekintve a nitrátvegyületekhez képest reaktívabb, jellemző – peroxidkötésű – molekularész a felelős a robbanóképességért. Jelentős képviselőjük a triaceton-triperoxid (TATP) és a hexametilén-triperoxid-diamin (HMTD).

A TATP egyedülálló abból a szempontból, hogy fontos szerepet soha nem töltött be ipari vagy katonai alkalmazások terén. Sokan tanulmányozták, de inkább elméleti szempontból, további kutatások, fejlesztések céljából. A TATP-ről az első közlemény 1895-ben született Wolfenstein révén, majd később számos előállítási recept látott napvilágot. A robbanóképességével kapcsolatos leghasznosabb tanulmányok Rohlich és Sauermilch (1943) [11] nevéhez fűződnek, akik a Hess- és a Trauzl-próba alapján meghatározták a TATP TNT-egyenértékét, ami hozzávetőlegesen 88%-nak bizonyult. Az általuk megalkotott gyutacs

0,05 g TATP megbízhatónak bizonyult. Más kísérleteikben meghatározták, hogy 0,16 g 1,35 g/cm³ sűrűségű TATP alkalmas TNT iniciálására. Valójában a TATP volt ez idő tájt a hivatalosan is elismert legérzékenyebb iniciálószer, 500 g tömegű anyaggal, 10 cm magasságú ejtőkalapácsos kísérlet alapján (0,069 bar). Fontos megjegyezni, hogy a TATP fémekkel nem olyan reaktív, mint a HMTD, a termikus stabilitása viszont kisebb. A nagy érzékenység és a termikus instabilitás mellett a még szobahőmérsékleten is nagy fokú szublimáció akadályozza a TATP gyakorlati alkalmazhatóságát.

A HMTD-t elsőként Baeyer és Villiger preparálta 1900-ban. [12] Ez az egyedüli szerves peroxidvegyület, amelyet robbanóanyagként ismertek el szakmai körökben abban az időben. Az 1920-as évek elején potenciális katonai robbanóanyagként történő alkalmazásával kapcsolatos kísérletek folytak. [13] A HMTD könnyen iniciálható anyag, kb. 2,5-szer nagyobb mennyiségű homoktömeget képes összenyomni, mint a korábban elterjedt higany-fulminát, ezért primer robbanóanyagként terjedt el detonátorok indításához. Habár volt némi vita a HMTD érzékenységét illetően, az a vélemény született, hogy szas kísérletek elvégzése után, hogy nagyobb érzékenységgel bír, mint a higany-fulminát, ezért iniciátorként tartották nyilván. A HMTD munkavégző képessége a körülményektől függően a TNT-hez képest 60–116% között változhat. A HMTD-t és a higany-fulminátot [Hg(ONC)₂] gyutacsba helyezték, és 69 bar nyomáson végeztek összehasonlító vizsgálatot. A minimális mennyiségű iniciálószer mindegyik robbanóanyagnál a HMTD esetében volt kedvezőbb. [14] A HMTD jó robbanási teljesítményjellemzők ellenére jelentős hátrányokkal rendelkezett, köszönhetően az igen reaktív peroxidkötésnek. A HMTD agresszíven oxidálja a köznap életben használt fémeket (alumínium, vas, cink, réz, ón, ólom). Tároláskor instabilitást mutat, rövid idő alatt súlyvesztés tapasztalható. Emiatt az 1950-es évek elejétől a robbanóanyagok körében a TATP-hez hasonlóan nem játszott különösebben fontos szerepet.

Látható, hogy mind a Sprengel által fejlesztett robbanóanyagok, mind a szerves peroxidok előállítását komoly kísérletek végrehajtása, tanulmányok közreadása előzte meg, amelyek harctéri tesztelésen is túlestek. Mivel ezek instabilak, nem kezelésbiztosak, a folyamatos terepen való használatra sokkal jobb alternatívák kerültek napvilágra. A terrorista és egyéb bűnelkövető csoportok, akik nem férnek hozzá a kereskedelembe kapható ipari robbanóanyagokhoz, katonai robbanóanyagokhoz, nem rettennek meg azoktól a veszélyes tényezőktől, melyek háttérbe szorították Sprengel termékeit és a peroxidtípusú vegyületeket. Ezen anyagok alkalmazásának új dimenziói nyíltak meg ezzel a szomorú ténynyel, melyet megerősít az anarchista, illetve terrorcselekmények elemzésével foglalkozó szakirodalom. [15][16] Az alábbiakban néhány példán keresztül látható, hogy a saját készítésű robbanóanyagokban mennyire tükröződik a történeti fejlődés során elvetett, kevésbé alkalmazhatónak bizonyult elegyek felhasználása, melyeket a fent említett szakirodalomban (anarchizmus, terrorizmus) nyomon követhetünk. Ennek egy kis keresztmetszetét mutatják be az olyan kiadványok, mint a *Guerilla's Arsenal*, [16] az *Improvised Munitions Black Book*, [17] a *Ragnar's Homemade Detonators* [15] és az *FMX: The Revised Black Book*, [18] amelyekben szép számmal szerepelnek a Sprengel-féle robbanóanyag-kompozíciók előállítási receptjei. Például a korábban említett Hellhoffite (nitro-benzol és salétromsav keveréke) valójában az *Improvised Munitions Black Book* [12] és az *FMX: The Revised Black Book* című kiadványokban kapta a fantázianévét. A klorálat alapú készítmények bővelkednek előállítási leírásokban, amelyeket a Provisional Irish Republican Army (PIRA)

előszeretettel alkalmazott akciói végrehajtásában. Erre jó példa a *Guerrilla's Arsenal*ban megtalálható nátrium-klorát és nitro-benzol keverék, az úgynevezett CO-OP. Ez aztán összehasonlítási vizsgálatokhoz vezet a korábban említett Rack-a-Rock változataival. A szerző segítséget nyújt az olvasó tájékoztatására, hogy miként nyerhető ki a nátrium-klorát a házi forrasztáshoz használt Solidox nevű termékből. Az *Improvised Munitions Black Book* instrukciókat ad, hogy hogyan kell készíteni a klorátalapú elegyeket, amelyek az anarchista, terrorista-szakirodalomban gyakran megjelennek, mint merényletekben alkalmazott robbanóképes anyagok. Ezek az anyagok kálium-klorátot tartalmaznak és főként vazelinrel flegmatizáltak. Az *FMX: The Revised Black Book* hoz példákat az előbbiekre, hivatkozva a Cheddit elnevezésű, ebbe a kategóriába sorolható készítményekre, amelyekben a nátrium- és kálium-klorát mellett szó esik már az ammónium-klorát változatairól is.

A szerves peroxidok is természetesen előbukkannak az említett nyomdatermékekben, az 1970-es évektől kezdődően. Ezek mindegyikében található a HMTD előállítására vonatkozó receptek, amelyek a közlemények szerint is jó iniciátorként alkalmazhatók a pikrinsavhoz hasonlóan, mint detonátor, a villanóelegyek gyújtási láncának folyamatában.

A régebben használt pikrinsav előállításának könnyen hozzáférhető alapanyaga az aszpirin, nem beszélve a Ragnar Benson által jelzett hidrogén-peroxid, hexamin, citromsav prekursorokról, amelyek a HMTD készítésének kereskedelemben könnyen hozzáférhető kiindulási anyagai. Az *FMX: The Revised Black Book* a TATP előállítására kínál útmutatást, bár a terroristacsoportok körében inkább a HMTD részesül előnyben saját készítésű iniciáló robbanóanyagként. Az utóbbi években mind a HMTD, mind a TATP felbukkant a rendfenntartó szervek nyomozati munkája révén, mint terrorista- vagy bármilyen bűnös célú alkalmazási eszközök része a világ számos területén.

Az utóbbi években az internetes fórumokon egyre gyakrabban bukkannak fel olyan robbanóanyagként jelzett vegyületek, amelyek a „konyhai kémiai laboratóriumok” termékei. Ezek bizonyos cukorhelyettesítő, a diabétesz betegségek kezelésekor javasolt édesítőszerke átalakítása révén válnak robbanóképes vegyületté. Az édesítőszerke két főbb kategóriába oszthatók: tápértéket nem képviselő, zéró kalóriát tartalmazó anyagok, valamint a cukoralkoholok. Az előbbieket, mint például a szaharin vagy az aszpartám, kémiai szerkezetüknél fogva nem alkalmasak olyan kémiai átalakításra, amelyből robbanóképes anyag készíthető. A cukoralkoholok vagy más néven polialkoholok (eritrit, xilit, mannit) szabad OH-csoportjai viszonylag könnyen nitrálhatók és nitrát-észter típusú robbanóanyag-vegyületek nyerhetők belőlük. A cukoralkoholok közül az eritrit látszik erre a legalkalmasabbnak, bár a többi rokon vegyület előállítása is hasonló módon történik. [19]

Ami a nitráletalapú, elsősorban az ammónium-nitrát keverékeket illeti, számos jelentős baleset hívta fel a figyelmet viszonylag könnyen előállítható bűnös célú alkalmazásukra. Például 1921-ben Oppauban (Németország), 1947-ben Texas Cityben (USA), 2020-ban Bejrútban (Libanon) több száz tonna ammónium-nitrát robbant fel a nem körültekintő tárolás és kezelés következtében, amely robbanások számos halálos áldozatot is követeltek. Ugyancsak számos jelentős baleset hívta fel a figyelmet romboló hatására is.

A szerves nitráletalapú robbanóképes elegyekhez gyakran kevernek finoman elporított fémeket a robbanóképesesség fokozására, éghető szerves alumíniumot, magnéziumot, éghető, szerves anyag gyanánt dízelolajat, faszenet, amelyeket a házilagosan készített keverékekben sokszor különféle cukrokkal (magas széntartalom) helyettesítenek.

Az ammónium-nitrát mint önálló robbanóanyag számos egyéb, ipari célra gyárilag is előállított robbanóanyag-keverék egyik komponenseként is szerepel (pl. dinamittípusú robbanóanyagok).

HÁZILAGOS KÉSZÍTÉSŰ ROBBANÓANYAGOK, ROBBANÓKÉPES KEVERÉKEK, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL AZ OXIDÁLÓSZER TARTALMUKRA (KOMPONENSEK, PREKURZOROK)

Nitrátalapú keverékek

Ammónium-nitrát

Az ammónium és a salétromsav sója a mezőgazdaságban műtrágyaként kerül felhasználásra, de gyakran alkalmazzák robbanóképes keverékek komponenseként is mint oxidálószer. Az ammónium-nitrát (AN) fő alkotórésze a sportolók játék közbeni enyhébb sérüléseire, egyéb fizikai terápiákban alkalmazott fagyasztó készítményeknek. Kereskedelmi megjelenését tekintve apró fehér prill vagy porrá őrölt anyag. Az AN az egyedüli kereskedelemben nagy mennyiségben beszerezhető oxidálószer. Ezért jelenléte nem feltétlen HME készítésére utaló momentum. [8] Más műtrágyával, adalékanyagokkal összekeverve színe a fakótól a pasztellárnyalatokig változhat. Műtrágya célra rendelkezésre áll laza vagy különleges csomagolásban. Szilárd állapotban zsákokban, zacskókban, hordókban tárolják a végső felhasználás előtt. Az USA-ban kb. 3 millió tonnát gyártanak, terjesztenek.

Robbanóanyagként az ammónium-nitrát legismertebb alkalmazása az 1995-ben Oklahoma Cityben elkövetett robbantásos merénylethez köthető, ahol oxidálószerként dízelolajjal keverve használták fel. Az így létrejövő, hozzávetőlegesen 94 tömegszázalék ammónium-nitrátból és 6 tömegszázalék dízelolajból álló keveréket ammónium-nitrát-fűtőolaj (ANFO, Ammonium Nitrate Fuel Oil) robbanóanyagként ismerik. Egyszerű előállíthatósága, széles körű hozzáférhetősége és jelentős rombolóhatása miatt az ANFO a háziagos készítésű robbanóanyagok (HME, *homemade explosives*) egyik legismertebb típusa, amelyet a terrorista- és más illegális csoportok is gyakran alkalmaztak. Az ammónium-nitrát azonban nem kizárólag szénhidrogén-alapú üzemanyagokkal keverhető, hanem számos más tüzelő- vagy energiahordozó anyaggal is robbanóképes elegyet alkothat. Ilyen adalékanyag lehet például az alumíniumpor, különböző cukorszármazékok, a nitrometán, illetve egyéb éghető szerves vegyületek, amelyek alkalmazásával eltérő tulajdonságú háziagos robbanóanyag-keverékek állíthatók elő.

Az ammónium-nitrát más robbanóanyagokkal is keverhető, így különböző robbanóképes elegyek előállítására használható. Ilyen keverékekben alkalmazták például TNT-vel vagy más nagy hatóerejű robbanóanyagokkal kombinálva, amivel növelhető a robbanótöltet teljes tömege, és módosíthatók annak robbanástechnikai tulajdonságai. Az ammónium-nitrát oxidálószerként számos háziagos robbanóanyag (HME) alapanyagául is szolgálhat, amennyiben megfelelő éghető komponensekkel keverik. Por alakban különféle finom szemcséjű tüzelőanyagokkal – például alumíniumporral, szerves vegyületekkel vagy egyes cukorszármazékokkal – alkothat robbanóképes elegyet, ezért a robbanóanyagokkal kapcsolatos biztonsági és hatósági szabályozások kiemelt figyelmet fordítanak felhasználására.

Ammónium-nitrát-alapú keverékek

HAZMAT-besorolás: Class 5 – Oxidálóanyagok (*Oxidizers*)

ERG azonosítók: 1942, 2067–2072

- AN és alumíniumpor: megjelenése rendszerint ezüstszürke vagy világosszürke színű por, illetve szemcsés (granulált) keverék. Az alumíniumtartalom miatt a keverék fémes csillogású lehet.
- AN és motorolaj: jellemzően nedves tapintású, szemcsés vagy granulált keverék, amely enyhén olajos, esetenként enyhén gyümölcsös, de összességében kellemetlen szagú.
- AN és dízelolaj (ANFO): megjelenése fehér vagy enyhén rózsaszínes színű, gömb alakú pelletből vagy granulátumból álló keverék. A dízelolaj jelenléte jellegzetes olajszaggal járhat.

HAZMAT besorolás: Class 4 – Éghető szilárd anyagok (*Flammable Solids*)

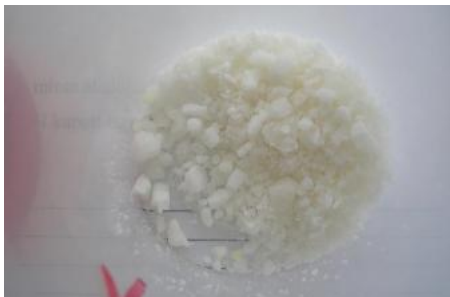
ERG azonosító: 1390

Az alumíniumpor ezüstszürke, finom szemcséjű por, amelyet gyakran ezüstbronzpor-ként is említenek. A szemcsemérettől és az előállítás módjától függően por, finom lemezke (*flake*), őrlemény vagy forgács formájában fordulhat elő. A kereskedelmi forgalomban jellemzően fém- vagy műanyag dobozokban, illetve ipari kiszerelésű zsákokban kerül forgalomba.

Ipari felhasználása széles körű: alkalmazzák fémfestékek és ezüstszerű bevonatok gyártásában, gépjárművek fényezésénél, elektronikai és számítástechnikai alkatrészek



3. ábra. Házilag készített ammónium-nitrát



4. ábra. Lefoglalt ammónium-nitrát
(NBSZ Szakértői Intézet)



5. ábra. Ammónium-nitrát prill



6. ábra. Színezett ANDO

előállításánál, továbbá különböző művészeti festékek és nyomdafestékek adalékanyagaként. Finom szemcsemérete miatt levegővel keveredve porrobbanás kialakulására is képes, ezért tárolása és kezelése fokozott munkavédelmi és tűzvédelmi előírások betartását igényli.

Egyéb nitrátok

Kálium-nitrát (KN), nátrium-nitrát (NN), kalcium-nitrát (CAN)

Az NN- és a CAN-alapú HME-k nem igazából terjedtek el, az NN higroszkopikus tulajdonsága, valamint a CAN nehéz kereskedelmi beszerezhetősége miatt. Nem valószínű, hogy az AN-t helyettesítő keverékek állíthatók elő belőlük, viszont lefojtott állapotban erős robbanást okozhatnak. A KN egyszerűen salétromként, az NN chilei salétromként és a CAN norvég salétromként emlegetett.

A CAN kivágandó fák, bokrok gyökereinek eltávolítására alkalmas anyagok hatóanyagaként is nyerhet alkalmazást. A leghíresebb KN-tartalmú HME a feketelőpor, definiált detonációra készíthető. Megfelelő körülmények között (lefojtott környezetben) viszont erőteljes robbanást képesek okozni önmagukban is. A vegyületek a salétromsav (HNO_3) sói, amelyek az AN-nél kevésbé erőyes, robbanóképes keverékek készítésére alkalmasak.

Feketelőpor

A feketelőport külön érdemes tárgyalni, mint nitráttartalmú HME-t, jelentősége, széles körű felhasználása miatt. A feketelőpor az emberiség által legrégebben használt, robbantásra alkalmas anyag, amely napjainkban is elterjedt töltete különféle IED-nek. Kinából származik és a 12. századtól Európában is fegyverek, lövedékek hajtóanyagaként ismert. Könnyű előállítani, száraz állapotban az egyik legveszélyesebb robbanóanyagként tartják számon a rendkívül nagy szikra-, dörzs- és ütészérzékenysége miatt. Ezért kezelése során fa-, illetve műanyag szerszámok használata ajánlatos. A lassú reakcióképesség, erősebb nyomásállósága következtében hosszú évekig az egyedüli kereskedelmi robbanóanyagnak bizonyult.

A feketelőpor tipikus összetétele 75% kálium-nitrát (KN) vagy nátrium-nitrát (NN), 10% kén, 15% faszén. Az összetétel kisebb-nagyobb mértékben az évek során változott. A feketelőpor égési sebessége, emiatt egy bizonyos fokig erősségének mértéke is befolyásolható a granulátum szemcseméret nagyságának a változtatásával. A nagy szemcséjű porok lassabban égnek, mint a finomabb szemcséjűek, következésképpen kevésbé hirtelenek a reakció lezajlását illetően.

A feketelőpor nem romlik meg, még ha a hordószerkezet, pl. egy ágyúgolyó, víz alá merül is. Bár a későbbiek során, ahogy a robbantástechnika, a robbanóanyag-gyártás fejlődött, a feketelőport különféle dinamittípusok helyettesítették. Bizonyos speciális esetekben azonban még mindig előszeretettel alkalmazzák. Egykor a száraz feketelőpor épp oly hatásos és veszélyes volt, ahogy azt frissen elkészítették.



7. ábra. Feketelőpor

A TNT-hez képest viszonylag erős robbanóhatása (felét meghaladó, az alkalmazási körülményektől függően), a készítéshez szükséges alapanyagok könnyű beszerezhetősége miatt a legnépszerűbb HME-vé vált világszerte. Leggyakrabban csőbombák tölteteként találkozhatunk vele bűncselekmények felderítése során. Amikor a cső le van fojtva, a szúróláng elegendő ahhoz, hogy a biztonsági gyújtó elindítsa a gyors dekompozíciót, nem szükséges gyutacs alkalmazása az indításhoz. A feketelőport egy zárt tárolóegységben (pl. cső) kell elhelyezni, hogy robbanásra késztessek.



8. ábra. Lefoglalt feketelőpor (NBSZ Szakértői Intézet)

A feketelőpor az egyik legrégebben ismert robbanó- és hajtóanyag, amely megfelelő tárolási körülmények között hosszú időn keresztül megőrzi tulajdonságait. Történelmi jelentőségét jól mutatja, hogy széles körben alkalmazták az amerikai polgárháború során különböző lőszeres és tűzszerési lövedékek hajtó- vagy robbanótölteteként. Ennek következtében a szakirodalomban és a tűzszerészeti gyakorlatban gyakran találkozhatunk a *Civil War souvenir* kifejezéssel, amely a mai napig előkerülő, korabeli hadianyagokra utal.

Megjelenési formáját tekintve a feketelőpor általában szürkésfekete vagy fekete színű por vagy különböző szemcseméretű granulátum. Jellegzetes szaga nyugalmi állapotban alig érzékelhető, égése során azonban a kéntartalom miatt jól felismerhető, záptojásra emlékeztető szag keletkezik.

A kereskedelmi forgalomban különböző szemcseméretű granulátumok, illetve speciális célokra préselt hengerek formájában is előfordulhat. A feketelőport elsősorban történelmi és sportlövészeti fegyverek hajtóanyagaként, pirotechnikai termékekben, valamint egyes speciális ipari alkalmazásokban használják.

Alumíniumpor

HAZMAT-besorolás: Class 4 – Éghető szilárd anyagok

ERG azonosító: 1390

Ahogy arra korábban már utaltam, az alumíniumpor ezüstszerű megjelenésű, finom szemcséjű fémes anyag, amely ezüstbronzpor elnevezéssel is előfordul. Fizikai kialakítását tekintve por, finom lemezke, őrlemény vagy forgács formájában egyaránt megtalálható. A kereskedelmi forgalomban a felhasználási céltól és a mennyiségtől függően különböző csomagolási és ipari kiszerelésekben érhető el.

Ipari felhasználása rendkívül sokoldalú. Alkalmazzák gépjárműfényező anyagok, fémfestékek, nyomdafestékek és különböző művészeti bevonatok gyártásában, továbbá az elektronikai és számítástechnikai iparban is. Finom szemcsemérete miatt porrobbanás veszélye állhat fenn, ezért kezelése és tárolása fokozott munkavédelmi és tűzvédelmi előírások betartását igényli.

Kén

A kén szilárd halmazállapotú, jellegzetesen sárga színű éghető elem, amely számos robbanó- és pirotechnikai elegy fontos alkotóeleme. Színe tisztaságától függően a világossárgától egészen a barnássárga árnyalatokig változhat.

A feketelőpor egyik alapvető komponenseként ismert, emellett különböző pirotechnikai készítményekben és egyes oxidálószer-alapú robbanóanyag-elegyek összetevőjeként is előfordul. Ipari jelentősége szintén kiemelkedő: fontos szerepet tölt be a gumi vulkanizálásában, a cellulóz- és papíriparban, a vegyiparban, valamint a kénsav előállításában.

Nitritek

Nátrium-, kálium- és kalcium-nitrit

A nátrium-, kálium- és kalcium-nitritek a nitrátokhoz hasonlóan oxidálótulajdonságú szervetlen sók, azonban robbanóanyag-prekuzorként lényegesen kisebb jelentőséggel bírnak. Ennek elsődleges oka, hogy a nitritek oxigéntartalma alacsonyabb, mint a megfelelő nitrátvegyületeké, ezért oxidálóképességük is kedvezőtlenebb, ami csökkenti robbanóképes elegyekben való alkalmazhatóságukat.

E vegyületek felhasználása elsősorban ipari célokra irányul. A kalcium-nitritet széles körben alkalmazzák vasbeton szerkezetek korrózióvédelmére, míg a kálium-nitrit elsősorban hűtő- és fűtőrendszerek korróziógátló adalékanyagaként ismert. A nátrium-nitrit jelentős szerepet tölt be a vegyiparban és az élelmiszeriparban: felhasználják színezékek és pigmentek előállításánál, textilipari fehérítési eljárásokban, valamint húsipari tartósítószerként.

A nemzetközi szakirodalomban és a nyomozati tapasztalatok alapján a nitriteken alapuló házilagos robbanóanyagok (HME) előfordulása ritka. Elméletileg ugyan képesek megfelelő éghető komponensekkel robbanóképes elegyet alkotni, azonban kisebb oxigéntartalmuk miatt teljesítményük rendszerint elmarad a nitrátalapú rendszerekétől. Ennek következtében a jogellenes robbanóanyag-előállítás során jóval ritkábban fordulnak elő, mint az ammónium-, kálium- vagy nátrium-nitrátot tartalmazó keverékek.

További korlátozó tényező, hogy a nitritvegyületek lakossági hozzáférhetősége általában jóval szűkebb, mint számos nitráté, ezért prekuzorként is kisebb gyakorlati jelentőséggel rendelkeznek.

Klorátok, perklorátok

Nátrium klorát, kálium klorát

Mind a klorátok (kálium-klorát – KClO_3 , nátrium-klorát – NaClO_3), mind a perklorátok (kálium-perklorát – KClO_4 , nátrium-perklorát – NaClO_4) erős oxidálószeresek, amelyek különböző energiatermelő elegyek általánosan alkalmazott oxidálókomponeisai. A köznap életben leggyakrabban pirotechnikai termékek, elsősorban tűzijátékok összetevőiként találkozhatunk velük, ahol éghető komponensekkel kombinálva biztosítják a kívánt fény-, hő- és hanghatásokat.

A nemzetközi bűnügyi tapasztalatok szerint előfordul, hogy illegális robbanószerkezetek készítői pirotechnikai termékekből vagy más kereskedelmi készítményekből próbálják kinyerni az oxidálószerként szolgáló klorát- vagy perklorátvegyületeket. Emiatt a tűzszerészeti és kriminalisztikai gyakorlatban ezek a vegyületek potenciális robbanóanyag-prekurzorként is számontarthatók.

Az említett vegyületeket tartalmazó készítmények rendszerint szagtalanok, színük pedig nagymértékben függ a hozzájuk kevert éghető komponensektől és egyéb adalékanyagoktól. A különböző fémporokat – például alumíniumot vagy magnéziumot –, valamint ként vagy más éghető összetevőket tartalmazó pirotechnikai kompozíciókat a szakirodalom gyakran villanópor (*flash powder*) gyűjtőnéven említi. Ezeket széles körben alkalmazzák pirotechnikai eszközökben, valamint katonai díszszemlék és bemutatók hang- és fényhatásainak előállítására.

A klorátalapú készítmények Európában hosszú időn keresztül viszonylag elterjedtek voltak rögtönzött robbanószerkezetek (IED) tölteteiben. A szakirodalomban több olyan elnevezés is ismert, amely valamely összetételre vagy robbanóképes elegyre utal, ugyanakkor ezek nem egységes összetételű vegyületeket, hanem különböző összetételű elegy családot jelölnek. Hasonlóképpen ismert a kálium-klorátot tartalmazó plasztikus jellegű kompozíció is, amelyet egyes források a „szegény ember robbanóanyagaként” említenek.

A szakirodalomban ismert az úgynevezett Armstrong-keverék is, amely kálium-klorátot és vörös foszfort tartalmazó érzékeny elegy. A klorátok alkalmazásával kapcsolatban különösen fontos kiemelni, hogy egyes összetételek rendkívül érzékenyek mechanikai behatásra, súrlódásra vagy elektrosztatikus kisülésre, ezért kezelésük jelentős biztonsági kockázatot jelent. Ez a veszélyesség a pirotechnikai iparban is jól ismert, ahol a statikus elektromosság elleni védelem alapvető munkabiztonsági követelmény.

A vörös foszfor ipari felhasználása elsősorban gyufagyártáshoz és egyes speciális vegyipari technológiákhoz kapcsolódik, ugyanakkor a nemzetközi bűnügyi tapasztalatok szerint illegális kábítószer-előállító laboratóriumokban is előfordulhat.

A klorátvegyületekhez elsősorban pirotechnikai termékekben, illetve egyes ipari felhasználású készítményekben keresztül lehet hozzájutni. A nátrium-klorátot korábban széles körben alkalmazták gyomirtóként, valamint a papíriparban fehérítőanyag előállítására. Napjainkban a világon előállított nátrium-klorát döntő részét továbbra is a cellulóz- és papíripar használja fel, ahol klór-dioxid előállítására szolgál. Emellett különböző nem mezőgazdasági gyomirtó készítményekben és egyéb ipari termékekben is előfordulhat.

A kálium-klorát hozzáférhetőségét több országban jogszabályok korlátozzák, különösen a lakossági felhasználásra szánt készítmények esetében. Ennek ellenére egyes országokban pirotechnikai célú alapanyagként továbbra is beszerezhető, illetve internetes kereskedelmi felületeken is előfordulhat.

HAZMAT-besorolás:

- nátrium-klorát: Class 5.1 – oxidálóanyag, ERG ID: 1490;
- kálium-klorát: Class 5.1 – oxidálóanyag, ERG ID: 1490.

Perklorátok

A perklorátok kémiai tulajdonságaikat tekintve a klorátokhoz hasonló oxidálószerrek, ugyanakkor nagyobb oxigéntartalmuk következtében oxidálóképességük kedvezőbb, miközben megfelelő körülmények között általában stabilabbak is. Legfontosabb képviselőik a kálium-perklorát, a nátrium-perklorát és az ammónium-perklorát.

A perklorátvegyületek elsősorban pirotechnikai készítményekben, különböző katonai jelzőeszközökben, valamint rakétahajtóanyagokban fordulnak elő. A kálium-perklorát több pirotechnikai termék és speciális technikai eszköz oxidálószere, míg az ammónium-perklorát a korszerű szilárd rakétahajtóanyagok egyik legfontosabb összetevője. A nátrium-perklorát elsősorban vegyipari alapanyagként és egyes robbanóanyag-ipari készítmények komponenseként ismert.

A klorátokhoz hasonlóan a perklorátok is hozzáférhetők lehetnek pirotechnikai alapanyagokat forgalmazó kereskedőknél, bár lényegesen kisebb mennyiségben fordulnak elő. A kriminalisztikai gyakorlatban ritkábban találkozunk velük, ugyanakkor potenciális robbanóanyag-prekursoraként ezek is számításba vehetők.

A perklorátok jó vízzoldhatósága és környezeti toxicitása miatt ipari robbanóanyagokban korlátozott mértékben alkalmazhatók. Legjelentősebb felhasználási területük napjainkban továbbra is a rakéta- és űripár, ahol elsősorban szilárd hajtóanyagok oxidálókomponeként játszanak meghatározó szerepet.

Kloritok

Nátrium klorit

A klorit sókkal általában nátrium-kloritként találkozhatunk a kálium-klorit előfordulása kevésbé jelentős, bár időnként bizonyos esetekben, az utóbbi években felbukkan a nemzetközi terroristakészítményekben. A nátrium-nitrit és valamilyen gyúlékony anyag keveréke, amely kevésbé képes detonációra. Az ilyen anyagok pusztán összekeverése elég elektromos statikussággal rendelkezik, hogy meggyulladjon.

Nincs sok adat a kloritok HME-ként való felhasználására, kivéve valamilyen cukorral történő összekeverése esetében. Feltételezések szerint a kutatások folytatása a fenti eset érdekessége kapcsán figyelemre méltó.

A híg nátrium-klorittal történő kísérletek mindenesetre a gyógyászat irányába terelődnek, elsősorban a száj- és fogápolás területén (krémek, gélek, pasztillák), valamint kontaktlencsetisztító szerek alkalmazására. Koncentrált készítmények nyílt eladására nincsenek jelentős adatok.

Míg a nátrium-klorátot elsősorban a cellulóz- és papíripár alkalmazza a papírpép fehérítésére, ahol a belőle előállított klór-dioxid hatékony fehérítőszerként szolgál, addig a kloritvegyületek – elsősorban a nátrium-klorit – fő felhasználási területe a vízkezelés és -fertőtlenítés. A klór-dioxid helyszíni előállításának prekursoraként ivóvíz- és szennyvíztisztításban, az élelmiszeripárban, az egészségügyben, valamint állati eredetű szennyeződésekkel érintett felületek és létesítmények fertőtlenítésére is széles körben alkalmazzák.

Kalcium-hipoklorit ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$)

A hipoklorit vegyületek – különösen a kalcium-hipoklorit, a nátrium-hipoklorit és a kálium-hipoklorit – erős oxidálószer. A nátrium- és kálium-hipoklorit leggyakrabban vizes oldat formájában kerül felhasználásra, míg a kalcium-hipoklorit elsősorban szilárd, szemcsés vagy tablettázott készítmények formájában fordul elő. A közismert Clorox fehérítőszer hatóanyaga például nátrium-hipoklorit, amelynek koncentrációja a terméktől függően jellemzően 3–8%.

A kalcium-hipoklorit rendkívül reakcióképes oxidálószer. Egyes éghető folyadékokkal érintkezve intenzív hőfejlődés és akár öngyulladás is bekövetkezhet. Az ilyen, külső gyújtóforrás nélküli, spontán reakciókat hiperbolikus reakciónak nevezzük. Emiatt a hipoklorit-vegyületek tárolása és kezelése során különös figyelmet kell fordítani arra, hogy éghető vagy redukáló anyagokkal ne kerüljenek érintkezésbe.

A nemzetközi szakirodalomban viszonylag kevés hipoklorit-alapú házilagos robbanóanyag (HME) ismert. A nyomozati tapasztalatok szerint ugyanakkor előfordulnak olyan esetek, amikor különböző hipoklorit-vegyületeket próbálnak oxidálószerként felhasználni. Ezek gyakorlati jelentősége azonban jóval kisebb, mint a nitrát-, klorát- vagy perklorátalapú rendszereké.

A kalcium-hipoklorit legismertebb felhasználási területe az uszodák, fürdők és egyéb víztárolók fertőtlenítése. A kereskedelembe széles körben elterjedt High Test Hypochlorite (HTH) készítmények jellemzően 60–70% kalcium-hipokloritot tartalmaznak, amelyet különböző inert komponensekkel stabilizálnak. Ezek az adalékanyagok nemcsak a készítmény tárolhatóságát javítják, hanem mérséklik annak reakciókészségét is.

A kalcium-hipoklorit ipari jelentősége ugyanakkor messze túlmutat a medencevíz-kezelésen. Széles körben alkalmazzák az ivóvíz- és szennyvízkezelésben, a városi vízellátó rendszerek fertőtlenítésében, továbbá a csatornahálózatok tisztításában és fertőtlenítésében. Emellett fontos szerepet tölt be az élelmiszeriparban, a mezőgazdaságban, az egészségügyben, valamint különböző közegészségügyi fertőtlenítési feladatok során is. A nagyüzemi felhasználás miatt a termék ipari kiszerelésben is – jellemzően 25–50 kg-os hordókban vagy tartályokban – forgalomba kerül.

HAZMAT-besorolás: Class 5.1 – Oxidálóanyag (Oxidizer)

Hidrogén-peroxid-alapú robbanóképes anyagok

A robbanóanyagok legújabb csoportja a peroxidvegyületeké, amelyek a terroristaarzenálban előkelő helyet kaptak. [20]

A TATP az utóbbi években az egyik legközkedveltebb HME-összetevővé vált. A hidrogén-peroxid (HP) alacsony koncentrációban széles körű felhasználású, mint pl. hajfestés, kontaktlencsék tisztítása. A koncentrációtól függően, mind prekursorvegyületként vesz részt a robbanóanyag szintézisében, mind oxidálószerként az egyszerűen fizikailag összekevert HME-ben.

Három vegyület, a triaceton-triperoxid (TATP), a hexametilén-triperoxid-diamin (HMTD), valamint a metil-etil-ke-ton-peroxid (MEKP) a legismertebb peroxidok, amelyek egyszerűen előállíthatók házilag is hidrogén-peroxidból (HP). Alacsony hatásfokkal készíthetők híg (3%) oldatból, de ennél töményebbet szokás használni. Mind a három vegyület fehér színű, kristályos állagú anyag.

Prekurzorai könnyen beszerezhetők a kereskedelemben. Az említett *hidrogén-peroxid* mellett valamilyen erős savra van szükség. Ez lehet *kénsav*, *sósav* vagy *salétromsav*. A TATP másik prekursora az *aceton*, amely a szerves kémiai gyakorlatban használt általános oldószer.

Aceton – HAZMAT besorolás: Class 3 (éghető folyadék) ERG# 1090

A HMTD készítésének másik alapvető eleme a *hexamin*, mely kültéri tüzek begyűjtására alkalmas (kerti partik, tábortüzek). Citromsavat használnak sav gyanánt ezen peroxid szintézisének a sav funkciójának ellátására a kémiai reakció során. Általános élelmiszer-ízesítő, gyakran savanyú sóként is emlegetik.

Hexamin – HAZMAT besorolás: Class 4 (éghető szilárd anyag) ERG ID# 1328

Az egyedüli folyékony hidrogén-peroxid-alapú HME, a MEKP, amelyhez az erős sav mellett metil-etil-eton oldószert (MEK) használnak fel. Beszerezhető ipari szakszerekben. Számos kereskedelmi termék, amelyek felhasználhatók HME-peroxidok készítésére, beleértve a peroxidtartalmúakat is, korábban publikálásra kerültek, [20] és csak az újabbak kerülnek most bemutatásra.

Maguk az említett készítmények erős oxidálószer, különféle gyúlékony anyagokkal keverve is alkalmazhatók HME-k készítésére. A koncentrált HP 35-50%-ig alkalmas az újabban népszerű terroristamerényletekben fellelhető HME-ben. Gyúlékony anyagok közül megtalálhatjuk a lisztet, cukrokat, paprikát, mézet, egyéb hétköznapi anyagokat. Megvizsgálva a HP gondolt eredetét, hangsúlyozni kell, hogy rögtön kapcsolatba kell lépni a bombaszakértőkkel, hogy valóban HP-vel találkoztunk-e.

A normál háztartási HP könnyen hozzáférhető gyógyszerárakban 3–6%-os vizes oldatú kiszerelésben. Az anyag jelenléte nem feltétlenül kelthet gyanút bűnös célú felhasználásra. Azonban a nagy térfogatban vagy forró fémedényekkel, fémlapokkal érintkező, azok közelében lévő fellelt HP, azt a gyanút keltheti, hogy töményítés történik HME készítése céljából. Kozmetikusoknak lehetőségük nyílik töményebb áru beszerzésére is, amelyből hígítással hajfehéritő szert készítenek. A kozmetikai ipar térfogatszázalékban méri a HP-koncentrációt, súlyszázalékban ez 9–35%-ot jelent. Ezt a típusú HP-t gyakran kifejlesztő-, előhívó anyagnak is hívják szakmai körökben. Újabban az egészségmegővő alternatív készítmények iparszerű gyártása során emberi testápolók oxigénező komponenseként használják fel. Egy módszer körvonalazza a HP híg oldatban történő megvalósítását tisztálkodásra, fürdésre, áztatásra. Számos internetes cég fejleszt ki eladásra szánt 30–35%-os koncentrációjú HP-t az előbb említettek felhasználására, amelyet megfelelő hígításban javasolnak. Ezekre a műanyag palackokban kínált termékekre gyakran rányomtatják a táplálék (*Food Grade*) feliratot. Az uszodai vegyszeres kezeléseket tekintve a Chlorint elég nehéz hajra, bőrre, fürdőruhára alkalmazni, amit figyelembe véve egy sor HP-alapú termék került kifejlesztésre. Az USA-ban elterjedt SoftClear fantázianevű tisztítószer pl. 27,5% TATP-tartalmaz. A HP biztonságosan növeli a táplálékkiegészítők, műtrágyák oxigéntartalmának szintjét. Mindkettő stimulálja a növények fejlődését, és kontrollálja az ártalmas patogének elszaporodását (19–35%). Hidroterápiástermék-szakszerekben és az interneten szerezhetők be. Meg kell jegyezni, hogy ezeket a termékeket az illegális marihuánatermesztésben is alkalmazzák. Több robbanóanyag-prekursor is megtalálható a kábítószer-prekursorok listáján. A megnövekvő új HP-készítmények szinte lehetetlenné teszik a kereskedelembe elterjedt anyagok listájának összeállítását. Például a növényvédőszer-maradványok eltávolítására találkozhatunk a Superoxy Food Wash nevű 35% HP és grépfrútmag-extraktumból

összeállított termékkel. Ezenkívül a mezőgazdaságban felbukkan egy Serum 1000 és Peroxy King fantázianévű olvasztott állapotban használható, 6–18% HP-tartalmú, anyag. Ezek az anyagok hozzáférhetők, rendelkezésre állnak a köznapi életben, az interneten keresztül beszerezhetők, és HME- előállítására is alkalmasak.

A HP 35%-os oldatát 50 fontos, saválló ballonokban tárolják, mint a szőlészetben közkedvelt gombaölőszert. Ami az ipari felhasználását illeti a papíripar használja fehérítő- és fertőtlenítőanyagként 5–55 gallon térfogatú, saválló tartályokban.

Hidrogén-peroxid – HAZMAT-besorolás: Class 5 (oxidálószer) ERG ID# 2014, 2015, 2984, 3149.

Az anarchista szakirodalomban egyre inkább fellelhetők a peroxidsók, melyek a HP-től eltérően szilárd halmazállapotúak, igen agresszívek. A *nátrium-peroxid* a terrorista felhasználású vegyületek érdekes kavalkádját alkotja. Levegő nedvessége hatására bomlik HP-re és nátrium-hidroxidra. A HP nátrium-hidroxid jelenlétében hőt fejlesztve oxigént tesz szabaddá, mely gyúlékony anyag jelenlétében intenzíven reagál. A peroxidsók jelenléte HME laboratóriumokban komoly veszélyt jelenthet. Hasonlóan igaz ez a *bárium-peroxidra* is. Egy internetes recept szerint nátrium-peroxid, alumínium és kén keverékének előállítására vonatkozó kísérletek folytak, mely nedvesség hatására válik intenzíven gyúlékonnyá. Hasonlóan cukorral kevert változata jelenik meg az Energetikai Anyagok Kutatási és Vizsgálati Központjában az USA Új Mexikó állambeli Socorróban közzétett kísérleti eredmények tanulsága szerint. A bárium-peroxid stabilabb, a nedvesség ebben az esetben nem idéz elő hasonló jelenséget, mint fent említett analógja. Más leírás szerint alumíniummal és magnéziummal keverve villanóelegyet képez.

A hexamin (hexametilén-tetramin) első sorban szilárd tüzelőanyagként ismert, amelyet túrázás, katonai alkalmazások és szabadtéri főzőeszközök tüzelőanyagaként használnak. Égése közel füstmentes, nagy hőfejlődéssel jár, ezért széles körben alkalmazzák hordozható főzőberendezésekben.

Kriminálisztikai szempontból jelentőségét az adja, hogy egyes robbanóanyag-prekursorok előállításához kiindulási anyagként is felhasználható, ezért jelenléte más robbanóanyag-prekursorokkal együtt fokozott figyelmet indokolhat.



9. ábra. Égő hexamin

Kálium-permanganát

Az oxidálószer családján belül mély bíbor színéről könnyű megkülönböztetni, tekintve, hogy a többi ilyen típusú vegyület fehér kristályos jellegű. A levegőn megbarnul, sötét,

fekete árnyalatot vesz fel, tarkítva fehér kristályokkal. Ez a levegő nedvességtartalmával történő reakció eredménye, amikor is kálium-hidroxid és mangán-dioxid képződik a ré-szecskék felületén.

Kevésbé hatékony volta miatt, a korábban tárgyalt anyagokéhoz képest csak kevés recepttel találkozhatunk HME-kísérletek kapcsán. Pirotechnikai termékekben azonban gyakran előfordul alumínium-, kén-, antimon-, cukorvegyületek gyúlékony anyagok mellett, mint oxidálókompone ns. Ezáltal ezek az elegyek alacsony hatékonyságú robbanóanyagként viselkednek. Mint a kalcium-hipoklorit, a kálium-permanganát is produkálja a hiperbolikus reakcióját alkoholtartalmú gyújtóanyaggal (pl. fékfolyadék, glicerin, egyéb hűtőfolyadék) keverjük.

Fő kereskedelmi felhasználása a házi víztisztítási, -szűrési készítményekben történő felhasználás. Regenerálja a szűrőrendszereket, eltávolítja a vas-, a mangánlerakódásokat, a hidrogén-szulfid okozta kellemetlen rohad t, záptojásillatokat kutak vizéből, valamint kis Koi tavak vizeinek kezelésére.

Az iparban szintén vizek kezelésében játszik fontos szerepet. Fertőtlenítőanyag az orvosi kezelések alkalmával, szagok kontrolálása a festékgyárakban, kiömléses balesetek okozta szagok eltávolítása, halfeldolgozó üzemek szagtalanítása, talajok, talajvizek, környezeti orvoslása, paraziták elpusztítása, halgazdasági vizek parazitáinak elpusztítása. Mint más ipari vegyi anyagot szintén nagyobb mennyiségben forgalmazzák, kb. 20-30 kg-os műanyag edényekben.

HAZMAT-besorolás: Class 5 (oxidálószer ek) ERG ID# 1490

HÁZILAGOS KÉSZÍTÉSŰ ROBBANÓANYAGOK, ROBBANÓKÉPES KEVERÉKEK, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A GYÚLÉKONY KOMPONENSEKRE (PREKURZOROK ÉS KOMPONENSEK)

Minden olyan anyag, amely képes oxigénnel reakcióba lépni, gyúlékony komponensként alkalmazható a HME-ben. Ugyanakkor a gyúlékony anyagok jelenlétéből önmagában nem lehet robbanóanyag vagy robbanóképes keverék jelenlétére következtetni. A szénhidrogének (pl. benzin, dízelolaj, kerozin), valamint különféle háztartási anyagok (pl. cukrok, liszt, alkohol, acet on, kömény) oxidáció során felszabaduló energiája lehetővé teszi különböző HME-k kialakulását.

Acet on

Az acet on általánosan alkalmazott ipari és kozmetikai oldószer, színtelen, átlátszó folyadék, jellegzetes intenzív szaggal. Műanyag vagy fémtartályokban kerül forgalomba műszaki, festék- és vegyi áruházakban.

HAZMAT: Class 3 (éghető folyadék), ERG ID# 1090

Alkohol

Az alkoholok az iparban és a háztartásokban széles körben alkalmazott, általában színtelen folyadékok. Veszélyességük, toxicitásuk és fizikai tulajdonságaik az adott vegyület típusától, elsősorban a szénlánc hosszától függnék. Fém-, műanyag vagy üvegpalackokban tárolják.

HAZMAT: Class 3 (éghető folyadék), ERG ID# 1986, 1987, 3065, 3274

Etilén-glikol

Az etilén-glikol színtelen, szagtalan, enyhén szirupszerű folyadék, amely elsősorban fagyálló folyadékként ismert. Emellett mesterséges köd és füst előállítására, valamint fék- és hidraulikafolyadékok összetevőjeként is alkalmazzák. Önmagában nem tekinthető különösen veszélyes éghető anyagnak, azonban egyes éghető komponensekkel együtt energetikai keverékek összetevőjeként is előfordulhat. Fém- vagy műanyag tartályokban tárolják.

HAZMAT: Class 3 (éghető folyadék), ERG ID# 1153, 1171, 1172, 1188, 1189

Nitrobenzol (C₆H₅NO₂)

A nitrobenzol (NB) az energiadús szerves vegyületek közé sorolható. A hagyományos szénhidrogének – például a kőolajszármazékok – elsősorban szenet és hidrogént tartalmaznak. A molekulához kapcsolódó nitrocsoport növeli a vegyület energiatartalmát, ezáltal az oxidáció során felszabaduló energia mennyiségét is. Bár önmagában nem tekinthető robbanóanyagnak, megfelelő oxidálószerrel keverve energetikai keverékek alkotórészeként előfordulhat. A nitrobenzol halványsárga, olajos folyadék, jellegzetes édeskés, mandulára emlékeztető szaggal.

A nitrobenzolt korábban mind ipari, mind illegális célú energetikai keverékekben alkalmazták. Történeti szempontból említést érdemel a Rack-A-Rock (kálium-klorát/nitrobenzol), valamint a Hellhoffite (salétromsav/nitrobenzol) elnevezésű robbanóanyag-keverék. Az 1970-es években a Provisional Irish Republican Army (PIRA) különböző nitrobenzolt tartalmazó keverékeket is alkalmazott ammónium-nitráttal kombinálva, amelyeket ANNI vagy ANNIE néven is említ a szakirodalom.

Napjainkban a nitrobenzolt koncentrált formában már nem alkalmazzák kereskedelmi termékekben. Korábban kis mennyiségben fegyvertisztító szerekben (Hoppe's), cipőápoló készítményekben, valamint szappanok és parfümök gyártásában is felhasználták. Karcinogén tulajdonságai miatt ezek a felhasználási területek jelentősen visszaszorultak.

A világon előállított nitrobenzol mintegy 95%-át anilin gyártására használják fel. Az anilin a poliuretánok fontos prekursora, amelyek széles körben alkalmazott hőszigetelő habanyagok. Emellett felhasználják kenőanyagok, kőolaj-finomítási technológiák, valamint gyógyszeripari alapanyagok – például az acetaminofen – előállításában is.

Nitrometán (CH_3NO_2)

A nitrometán (NM) sajátos tulajdonságokkal rendelkező vegyület, amely bizonyos körülmények között gyenge oxidálószerként, éghető komponensként, valamint robbanóanyagként is viselkedhet. Elsősorban azonban a motorsportban alkalmazott speciális üzemanyagok összetevőjeként ismert, vízmentes állapotban.

A tiszta nitrometán megfelelő iniciálás mellett robbanásra képes folyadék. Ammónium-nitráttal keverve nagy energiatartalmú robbanóképes elegyet alkot, amelyet a szakirodalom Kinepak néven is említ. Más esetekben különböző fémporokkal vagy éghető komponensekkel együtt is energetikai keverékek összetevőjeként fordulhat elő.

A nitrometán kis mennyiségben kereskedelmi forgalomban is beszerezhető, azonban vásárlása egyes országokban nyilvántartáshoz vagy bejelentéshez kötött. Hígított formában modellautók, modellrepülő és modellhajók üzemanyagaként hobbiüzletekben és internetes kereskedelembe 5–80%-os koncentrációban forgalmazzák. Ezek a készítmények rendszerint metanolt és ricinusolajat is tartalmaznak.

Az ipar különféle kémiai szintézisek során alkalmazza, emellett a nagy teljesítményű versenyjárművek üzemanyagainak fontos összetevője.

HAZMAT: Class 3 (éghető folyadék), ERG ID# 1485

Hidrazin (N_2H_4)

A hidrazin az energetikai anyagok területén kiemelkedő jelentőségű vegyület. Szobahőmérsékleten folyékony halmazállapotú, ammóniára emlékeztető szagú anyag, amely rendkívül mérgező, még vizes oldat formájában is. Vízzel elegyedve hidrazin-hidrátot ($\text{N}_2\text{H}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$) képez, amely jellemzően 64%-os koncentrációban fordul elő. Az ennél hígabb vizes oldatokat az ipar különböző célokra, általában mintegy 35%-os koncentrációban alkalmazza.

A tiszta hidrazin speciális vegyület, amelyet elsősorban rakétahajtóművek és egyéb hajtóanyagrendszerek működtetéséhez használnak. Jelentős toxicitása miatt egyéb ipari felhasználása korlátozott. Az energetikai anyagok történetében az Astrolite néven ismert robbanóanyag-család révén vált ismertté, amelynek két változatát különböztetik meg: Astrolite A és Astrolite G. Ezek a készítmények a robbanóanyagok szakirodalmában gyakran szerepelnek, ugyanakkor alkalmazásuk napjainkra történeti jelentőségűvé vált.

Az Astrolite-készítmények egy időszakban ipari robbanóanyagként is ismertek voltak, mivel nagy energiatartalmú, nem nukleáris robbanóanyagként tartották számon őket.

A hidrazin felhasználására utaló kereskedelmi termékek gyakorlatilag nem érhetők el, ezért az Astrolite típusú készítmények napjainkban nem tekinthetők a széles körben előforduló illegális robbanóanyagok közé tartozó anyagoknak.

A tiszta hidrazin ugyan korlátozott szerepet játszik a speciális hajtóanyagokkal foglalkozó laboratóriumokban, hidrátját azonban különböző ipari alkalmazások során felhasználják. A körülbelül 35%-os vizes hidrazinoldatot elsősorban oxigénmegkötő és korróziógátló adalékként alkalmazzák ipari kazánok és nagynyomású gőzrendszerek karbantartása során.

Karbamid ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$)

A tiszta karbamid az ammónium-nitráthoz hasonlóan széles körben alkalmazott műtrágya, amely rendszerint szemcsés vagy granulált formában kerül forgalomba. Csomagolásán gyakran a 46–0–0 jelölés szerepel, amely magas nitrogéntartalmára utal. A karbamid önmagában nem oxidálószer, ugyanakkor fontos vegyipari alapanyag és több energetikai vegyület prekursoraként is ismert.

A karbamidalapú energetikai vegyületek közül legismertebb a karbamid-nitrát (UNi), amely a szakirodalomban több történelmi jelentőségű terrorcselekmény kapcsán is említésre került, többek között az oklahomai Murrah Federal Building elleni merénylet összefüggésében.

A karbamid műtrágyaként könnyen hozzáférhető, általában nagyméretű zsákos kiszerezésben kerül forgalomba. Emellett egyes jégmentesítő készítmények összetevőjeként is alkalmazzák. Világszerte nagy mennyiségben gyártott és forgalmazott alapvető vegyipari termék.

HAZMAT: Class 4 (éghető anyag), ERG ID# 1337

Nitrált cukoralkoholok

Az utóbbi években a nitrált cukoralkoholok iránt megnövekedett az érdeklődés, ezért ezek a vegyületek külön figyelmet érdemelnek. [19] A szakirodalomban ismert, hogy egyes cukorhelyettesítő vegyületek energetikai célú átalakításának lehetősége is megjelent.

A cukorhelyettesítő édesítőszernek két fő csoportba sorolhatók: a cukoralkoholok (poliolok), valamint a nem tápértékű édesítőszernek (például aszpartám és szacharin). A zéró kalóriás édesítőszernek energetikai szempontból nem játszanak jelentős szerepet, ezzel szemben a poliolok – például az eritrit, a xilit és a mannit – egyre szélesebb körben terjedtek el az élelmiszeriparban. Ezek energiatartalma hozzávetőlegesen fele a hagyományos cukroknak, ezért kedvelt cukorhelyettesítők. A kereskedelemben különböző kiszerezésekben könnyen hozzáférhetők.

Az eritrit tulajdonságai miatt a szakirodalomban kiemelt figyelmet kapott, ugyanakkor kémiai tulajdonságai alapvetően hasonlóak a többi cukoralkoholéhoz. [19]

Salétromsav: HAZMAT Class 5 (oxidálószer), ERG ID# 1760

Kénsav: HAZMAT Class 8 (maró anyag), ERG ID# 1830, 1831, 1832, 2796

A nagy koncentrációjú kénsavat egyes országokban különböző kereskedelmi elnevezéseken (például Rotoo, Liquid Fire vagy Liquid Lightning) csőtisztító készítmények hatóanyagaként is forgalmazták. Kisebb koncentrációban akkumulátorok elektrolitjaként is előfordul. Kriminálisztikai szempontból a nagy mennyiségű vagy szokatlan körülmények között előforduló kénsav jelenléte önmagában még nem bizonyít jogellenes tevékenységet, azonban más körülményekkel együtt indokolhatja a részletesebb helyszíni vizsgálatot.

A cukoralkoholokkal, erős savakkal és egyéb laboratóriumi eszközökkel együtt előforduló anyagok összességükben olyan körülményeket jelezhetnek, amelyek kriminálisztikai szempontból fokozott figyelmet érdemelnek, ezért ezek dokumentálása és szakszerű értékelése indokolt a helyszíni szemle során.

Por alakú fémek

A por alakú fémek közül jelentőségét tekintve külön kiemelendő az alumínium (Al), nagy reakciókészsége miatt. Különböző szemcseméreteken és szemcsealakokban kerül forgalomba, leggyakrabban gömb alakú vagy lemezes (*flake*) formában. Színe az ezüstsürkétől a csaknem feketéig terjedhet, felülete pedig lehet fényes vagy matt. [20]

Az alumíniumpor az úgynevezett villanóporok egyik legfontosabb éghető komponense, emellett gyakran alkalmazzák ammónium-nitrát (AN) alapú robbanóanyag-kompozíciókban, valamint klorát- és perklorátalapú oxidálószeret tartalmazó keverékek összetevőjeként is.

Az alumíniumpor a kereskedelemben többféle kiserelésben is elérhető. Festékadalékként is jelentős szerepet tölt be, ahol fémpigmentként alkalmazzák különböző bevonatok fényesítő és csillogó hatásának kialakítására.

Ipari felhasználása rendkívül sokrétű. Alkalmazzák fotovoltaiikus cellák gyártásában, különféle kémiai technológiák reagensanyagaként, műanyagipari segédanyagként, egyes szagtalanítókészítmények összetevőjeként, valamint rakétahajtóanyagok adalékanyagaként is.

Egyéb fémporokkal is találkozhatunk. Ilyen például a magnalium, amely alumínium és magnézium speciális ötvöze, rendszerint 5–50% magnéziumtartalommal. [20]

Ezeket a fémporokat elsősorban pirotechnikai készítményekben alkalmazzák. A titánból (Ti) készült porok és keverékek általában stabilabbak, azonban jóval ritkábban használják őket, mint az alumíniumport. A fent említett fémporok elsősorban pirotechnikai alapanyagokat forgalmazó szaküzletekben szerezhetők be, általános kiskereskedelmi forgalomban ritkábban fordulnak elő.

Változatos tulajdonságaiknak köszönhetően ezek a fémporok számos ipari területen is felhasználásra kerülnek.

A kén (S)

A kén sárga színű, szilárd halmazállapotú éghető anyag. Színe tisztaságától függően a világossárgától a barnássárga árnyalatig változhat. Finom por alakú változatát gyakran kénvirág néven is említik. Alacsony olvadáspontja miatt a ként tartalmazó keverékek gyulladási tulajdonságait kedvezően befolyásolja, ezáltal általában megkönnyíti az égési folyamat megindulását.

A ként széles körben alkalmazzák pirotechnikai készítményekben, ahol a keverék reakciókészségének növelése előnyös tulajdonságnak számít. A kén a feketelőpor egyik alapvető komponense, emellett ammónium-nitrát (AN) alapú keverékekben, valamint alumíniumporral kombinált energetikai kompozíciókban is előfordul.

A kereskedelemben különböző kiserelésekben érhető el. Kertészeti felhasználásra jellemzően szemcsés vagy por alakban, mintegy 90%-os kéntartalmú készítmények formájában kerül forgalomba, különböző kísérőanyagokkal együtt.

Ipari felhasználása igen széles körű. Nagy mennyiségben alkalmazzák műtrágyák összetevőjeként, a gumi vulkanizálásában, a cellofángyártásban, a cellulóz- és papíriparban, valamint a kénsavgyártás alapanyagaként. Emellett számos más vegyipari technológia fontos kiindulási anyaga.

A HME-K ELŐÁLLÍTÁSÁHOZ HASZNÁLT ESZKÖZÖK ÉS LABORATÓRIUMI BERENDEZÉSEK

A HME-k készítésére utaló tevékenységet nemcsak a különböző vegyszerek és prekursor vegyületek, hanem az alkalmazott gyanús berendezések és eszközök helyszíni feltalálása is jelezheti.

Számos terrorista szervezet rendelkezik olyan képességekkel, amelyek lehetővé teszi HME-k előállítására alkalmas kémiai anyagok házilagos előállítását, hagyományos vagy improvizált laboratóriumi eszközök felhasználásával. Az előállításhoz és a tisztítási műveletekhez használt eszközök gyakran egyszerű háztartási tárgyak, például főzőedények, nyomásálló fazekak, kávéfilterek vagy egyéb konyhai eszközök. Az alkalmazott berendezések típusa mindig az előállítani kívánt HME jellegétől függ. Az eszközök származhatnak laboratóriumi környezetből, de lehetnek házilag készített darálók, keverők, desztillálóberendezések, szűrőeszközök, illetve hűtő- és fűtőberendezések is. [21]

A darálók és őrlők feladata elsősorban különböző szilárd anyagok – például ammónium-nitrát alapú keverékek, feketelőpor, klorát- és perklorátvegyületek – szemcseméretének csökkentése.

A keverők és homogenizálók különböző szilárd és folyékony komponensek összekeverésére szolgálnak. Alkalmazhatók többek között ammónium-nitrát alapú keverékek, feketelőpor, klorát- és perklorátvegyületek, valamint egyes folyékony energetikai rendszerek előállítása során.

A jégfürdők a hőfejlődéssel járó folyamatok hőmérsékletének szabályozását szolgálják. Jelentőségük különösen azoknál az eljárásoknál nagy, ahol a reakciók során jelentős hő szabadul fel.

A desztillálás a folyékony halmazállapotú anyagok tisztítására és koncentrálására szolgáló elválasztási művelet. Az ehhez alkalmazott berendezések lehetnek hagyományos laboratóriumi készülékek vagy házilag összeállított eszközök is.

A szűrés a szilárd és folyékony fázis elválasztására szolgáló alapvető művelet. A kriminalisztikai helyszíneken különböző szűrőeszközök jelenléte szintén utalhat vegyi anyagok feldolgozására.

A személyi védőfelszerelések (kesztyű, védőszemüveg, légzésvédő maszk stb.) alkalmazása különösen fontos a maró, mérgező vagy irritáló vegyszerek kezelése során, mivel csökkentik a bőrsérülések, marások és egyéb egészségkárosító hatások kialakulásának kockázatát.

A következő ábrák házilag összeállított laboratóriumi eszközöket mutatnak be. Ezek helyszíni feltalálása önmagában ugyan nem bizonyítja illegális tevékenység folytatását, azonban más körülményekkel együtt indokolhatja további szakértői vizsgálatok elvégzését.

A HME-k előállítása általában három alapvető műveleti szakaszból áll: gyártás, tisztítás és termékanalízis.

A gyártási szakaszban egy vagy több vegyület összekeverése, illetve kémiai reakcióba vitele történik. [3][6]

A tisztítási szakasz célja különböző elválasztási műveletek alkalmazásával a kívánt anyag minél nagyobb tisztaságú kinyerése.

A termékanalízis során a keletkezett anyagok összetételének, tisztaságának és esetleges veszélyes tulajdonságainak meghatározása történik.

A három munkafázis és a megfelelő személyi védőeszközök együttes jelenléte rendszerint teljes laboratóriumi tevékenységre utal.

A keveréshez és a kémiai reakciók végrehajtásához számos különböző edény alkalmazható, a hagyományos laboratóriumi főzőpoharaktól és lombikoktól kezdve egészen egyszerű háztartási edényekig. Speciális ipari technológiák esetében korrózióálló nikkel-, nikkelötvözet-, titán- vagy grafitreaktorok és tárolóedények is alkalmazhatók.

A kémiai reakciók végtermékei különböző halmazállapotú rendszereket alkothatnak (folyadék–folyadék, illetve folyadék–szilárd rendszerek), amelyek szétválasztásához különféle fizikai elválasztási műveletek szükségesek. Ilyen egyszerű művelet például a dekantálás, vagyis a folyadék óvatos leöntése, illetve pipetta alkalmazása.

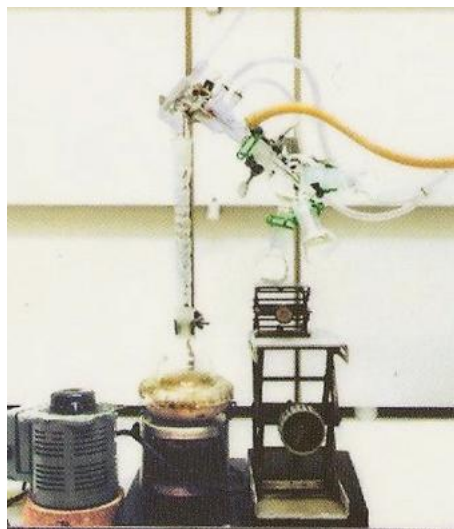
A szűrés az egyik legfontosabb elválasztási művelet. Leggyakrabban a folyadék és a szilárd fázis elkülönítése szükséges. Az alkalmazott módszerek a kívánt tisztaságtól és a rendelkezésre álló eszközöktől függően változnak. A legegyszerűbb háztartási kávé- vagy teaszűrőktől, a sajtkészítéshez használt textíliáktól egészen a laboratóriumi szűrőpapírokkal felszerelt speciális szűrőkig, illetve vákuumszűrő berendezésekig terjedhetnek.

A folyadékok tisztításának egyik egyszerű módja az elpárolgatás, amely során a nem kívánt folyadékkomponensek eltávolítása különböző hőmérsékleti és nyomásviszonyok mellett történik. Erre jól ismert példa a tengervízből történő sókinyerés. Számos eljárás során különböző fűtőberendezések alkalmazhatók a párolgatás elősegítésére. [2][11] Bizonyos esetekben azonban önmagában a melegítés nem elegendő, hanem vákuum alkalmazására is szükség lehet az alacsonyabb forráspont elérése érdekében.

A desztillálás a folyadékok tisztításának másik fontos eljárása. Ennek során a reakcióelegyből eltávozó gőzöket lehűtik, kondenzálják, majd külön gyűjtőedényben fogják fel. [1] Az alkalmazott berendezés általában hőforrásból, desztillációs oszlopból vagy



10. ábra. Könnyen beszerezhető laboratóriumi üveg edények [20]



11. ábra. Kémia reakciók végrehajtásra összeállított eszköz [20]



12. ábra. Desztilláló berendezés



13. ábra. Házilagos fűtőalkalmatosság



14. ábra. Házilagos izzítóapparátus



csőrendszerből, hűtőegységből és gyűjtőedényből áll. A desztilláló berendezés lehet házilag összeállított vagy laboratóriumi kivitelű is. [1]

Egyes kémiai reakciók során szükség lehet a környezeti feltételek – például a hőmérséklet, a nyomás vagy a reakciótér gázösszetételének – szabályozására. Ennek érdekében különböző fűtőberendezések (például Bunsen-égő, elektromos főzőlap, olajfürdő), hűtőberendezések (hűtőszekrény, jégfürdő), valamint nyomásálló tartályok alkalmazhatók. A nyomás szabályozására például hegesztő- vagy bűvárpalackok is felhasználhatók.

Ha egy reakció érzékeny a levegő oxigénjére vagy nedvességtartalmára, inert gázokat – például nitrogént – alkalmaznak a reakciótér megfelelő atmoszférájának biztosítására.

Az elkészített HME nemcsak önmagában jelenthet veszélyt, hanem a gyártási folyamatban felhasznált kiindulási anyagok és reakcióközegek is lehetnek mérgezők vagy egyéb egészségkárosító hatásúak. [3] Emiatt a személyi védőeszközök (Personal Protective Equipment, PPE), például gumikesztyűk, védőmaszkok, légzésvédő készülékek, valamint különféle vegyi anyagok kimutatására szolgáló mérőeszközök és tesztkészletek jelenléte

szintén utalhat vegyi anyagok feldolgozására. A témával kapcsolatos részletesebb információk a *Personal Protective Equipment Used with CBR Materials* című kézikönyvben található.

ÖSSZEGZÉS

Az összeállításban próbáltam kiemelni néhány olyan robbanóanyag-vegyületet, pusztítás, rombolás előidézésére alkalmas anyagot, azok bizonyos összetételű keverékeit, amelyeket valójában házilag is viszonylag könnyen elő lehet állítani. [7] Az alapanyagok beszerezhetőségének tulajdonképpen csak a mennyiség szabhat korlátokat (a nagy mennyiségek indokolatlan vásárlása feltűnést kelthet), hiszen egy részük kis mennyiségben bárki számára hozzáférhető, másrészt a beszerzés, vásárlás hatósági korlátai természetesen kijátszhatók.

Az előállítás tekintetében a szakértelem és a technikai feltételek (laboratóriumi eszközök megléte, a házi energiaellátás működése) meghatározók. Számos nemzetközi beszámoló és szakértői munkám tapasztalatai is mutatják, hogy még a „házilag nehezen előállítható” jelölést kapott robbanóanyagok előállításával is sikeresen próbálkoztak otthon, akár lakásban, akár családi ház melléképületeiben kialakított házi laboratóriumban (kávéda-ráló, elektromos fűtőalkalmatosság, hűtőszekrény stb.).

Éppen ezért tartom nagy jelentőségűnek az EU intézményei (Európai Tanács, Európai Bizottság) robbanóanyagok prekursorai [1] forgalmazásának, kereskedelmének, ellenőrzésével kapcsolatos intézkedések bevezetésére irányuló törekvéseit, mint ahogy arra próbáltam rámutatni a 2012-es budapesti CEPOL konferencián is.

HIVATKOZOTT IRODALOM JEGYZÉKE

- [1] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2018): *Reducing the Threat of Improvised Explosive Device Attacks by Restricting Access to Explosive Precursor Chemicals*. The National Academies Press, Washington, DC, 2018. Forrás: <https://doi.org/10.17226/24862> (Letöltés: 2026. 07. 26.)
- [2] Szalkai László (2022): *Házi készítésű robbanószerkezetek előállítása, alkalmazása robbantásos merényletek során*. In: Daruka Norbert (szerk.): *Fúrás–Robbantástechnika Nemzetközi Szimpózium 2022 – Különkiadás*. Magyar Robbantástechnikai Egyesület, Velence. pp. 84–94. ISBN 978 615 01 6009 2. Forrás: https://mare.hu/sites/default/files/furas-robbantastechnika_nemzetkozi_szimpozium_2022_kulonkiadas_mare_lektoralt_pdf.pdf (Letöltés: 2026. 07. 26.)
- [3] Mueller Othmár (1995): *Korszerű szükséganyagokból készített robbanószerkezetek alkalmazásának és hatástalanításának sajátosságai, a jövőbeni fejlesztés irányai a terrorizmus figyelembevételével*. Kandidátusi értekezés, Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, 1995.
- [4] Daruka Norbert (2013): *A bűnös célú/terror jellegű robbantások és az ellenük való védekezés lehetőségei, különös tekintettel a tűzszerész feladatok ellátására*. Doktori (PhD) értekezés, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Katonai Műszaki Doktori Iskola, Budapest, 2013. Forrás: http://uni-nke.hu/downloads/konyvtar/digitgy/phd/2014/daruka_norbert.pdf (Letöltés: 2026. 07. 26.)
- [5] Daruka Norbert (2018): *A jövő háborúi az improvizált robbanószerkezetek alkalmazásának tekintetében*. *Sereg Szemle* 16(2), pp. 7–22. Forrás: <https://honvedelem.hu/images/media/5f58bebc52f24724003876.pdf> (Letöltés: 2025. 03. 12.)

- [6] Lukács László – Mueller Othmár (1994): *Házilag készítésű robbanóanyagok és robbanószerkezetek*. Jegyzet a rendőr szakközépiskolák hallgatói számára. ORFK Oktatási és Kiképző Központ, Budapest, 1994.
- [7] Lapat Attila (2024): *Robbanóanyag-azonosítási vizsgálatok a vegyész szakértői munkában*. In: Borza Veronika – Főző Eszter – Kóró Veronika – Markó Alexandra – Mell Péter – Nyiri Miklós – Tóth István László (szerk.): *Régi és új kihívások az igazságügyi szakértői munkában*. SZIMfónia II. Nemzetbiztonsági Szakszolgálat, Budapest, 2024. pp. 150–189. Forrás: https://nbsz.gov.hu/docs/SZIMfonia%20-%202022%20%C3%B6tet.pdf?utm_source=chatgpt.com (Letöltés: 2026. 06. 20.)
- [8] Horváth Tibor – Ember István (2021): Characteristics of Homemade Explosive Materials and the Possibilities of their Identification. *Revista Academiei Forțelor Terestre / Land Forces Academy Review*, Vol. XXVI, No. 2.(102). pp. 100–107. Forrás: <https://doi.org/10.2478/raft-2021-0015> (Letöltés: 2026. 07. 20.)
- [9] Yeager Kirk (1997): *Improvised Explosives as a Viable Terrorist Tool*. FBI Bomb Data Center Investigator, 97–3. Federal Bureau of Investigation, Bomb Data Center, Washington, DC, 1997.
- [10] Yeager Kirk (2006): *Improvised Explosives Threat Card*. FBI Bomb Data Center, Investigators Bulletin, No. 2006-4, valamint a hozzá tartozó *Threat Card*, Investigators Bulletin No. 2006-4.1. Federal Bureau of Investigation, Bomb Data Center, Quantico, VA, 2006.
- [11] Rohrlisch M. – Sauermilch W. (1943): *Sprengtechnische Eigenschaften von Trizykloazetonperoxyd*. Zeitschrift für das gesamte Schieß- und Sprengstoffwesen, 38.(6). pp. 97–99.
- [12] Baeyer Adolf – Villiger Victor (1900): *Ueber die Nomenclatur der Superoxyde und die Superoxyde der Aldehyde*. Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft. 33.(2). pp. 2479–2487. Forrás: <https://doi.org/10.1002/cber.190003302185> (Letöltés: 2026. 07. 20.)
- [13] Taylor, C. A. – Rinkenbach, W. H. (1924): *H.M.T.D. – A New Detonating Explosive*. *Army Ordnance*, 1924.(5). pp. 463–466.
- [14] Davis Tenney L. (1956): *The Chemistry of Powder and Explosives*. John Wiley & Sons, New York, 1956.(14). p. 490.
- [15] Benson Ragnar (1993): *Ragnar's Homemade Detonators: How to Make ,Em, How to Salvage ,Em, How to Detonate ,Em*. Paladin Press, Boulder, CO, 1993. ISBN 978-0873647373.
- [16] Harber David (1994): *Guerrilla's Arsenal: Advanced Techniques for Making Explosives and Time-Delay Bombs*. Paladin Press, Boulder, CO, 1994. ISBN 978-0873648004.
- [17] Frankford Arsenal (comp.)(1978): *Improvised Munitions Black Book*. Volume I. Desert Publications, El Dorado, AR, 1978. 145 p. ISBN 978-0879472047. A mű az amerikai Frankford Arsenal által összeállított katonai segédanyag újrakiadása.
- [18] Wallace William (1995): *FMX: The Revised Black Book – A Guide to Field-Manufactured Explosives*. Paladin Press, Boulder, CO, 1995.
- [19] Yeager Kirk (2010): *Erythritol Tetranitrate and Nitrated Sugar Substitutes (New Explosive Threats)*. Investigators Bulletin 2010-2. FBI Bomb Data Center, Federal Bureau of Investigation, Quantico, VA, 2010.
- [20] Thurman James T. (2006): *Practical Bomb Scene Investigation*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, 2006. ISBN: 978-0-8493-4198-4.
- [21] Technical Support Working Group (TSWG)(2008): *Indicators and Warnings for Homemade Explosives*. First Edition. Washington, DC: U.S. Government Printing Office (GPO), 2008. GPO Stock No. 008-001-00185-1. ISBN: 978-0-16-079532-9.

A PÓKHÁLÓ-HADMŰVELETTŐL AZ MI-ALAPÚ ELŐREJELZÉSIG – A KRITIKUS INFRASTRUKTÚRÁK DRÓNVÉDELME NEK ÚJ SZEMLÉLETE

FROM OPERATION SPIDERWEB TO AI-BASED EARLY WARNING: A NEW APPROACH TO DRONE PROTECTION OF CRITICAL INFRASTRUCTURE

VÉGH Krisztián¹

ÖSSZEGZÉS

Az ukrán Pókháló-hadművelet rámutatott arra, hogy a pilóta nélküli légitármű-rendszerek alkalmazása új kihívásokat jelent a katonai és civil kritikus infrastruktúrák védelmében. A kis méretű, alacsony költségű drónok összehangolt alkalmazásával nagy értékű, mélységben elhelyezkedő célpontok is eredményesen támadhatók, miközben a műveletek sikerét jelentős mértékben meghatározza azok komplex előkészítése. A tanulmány a hadművelet tapasztalatai alapján áttekinti a kritikus infrastruktúrák új sérülékenységeit és a szükséges védelmi szemléletváltást. Ezt követően bemutat egy indikátoralapú megközelítést, amely a támadások előkészítésére utaló logisztikai, technológiai, információs és humán jelek azonosításával támogathatja a korai előrejelzést. A nagymennyiségű, különböző forrásból származó adatok feldolgozásában a mesterséges intelligencia kiemelt szerepet tölthet be adatfúziós, anomáliadetektálási és döntéstámogató képességei révén. Következtetésként megállapítható, hogy a jövő hatékony drónvédelme a fizikai és elektronikai védelmi megoldások mellett egyre inkább az indikátorelemzésre és a mesterséges intelligenciával támogatott előrejelzésre épül.

Kulcsszavak: pókháló-hadművelet, kritikus infrastruktúra-védelem, pilóta nélküli légitármű-rendszerek, mesterséges intelligencia, korai előrejelzés, indikátoralapú fenyegetéselemzés.

ABSTRACT

Operation Spiderweb demonstrated that the employment of unmanned aerial systems (UAS) has created new challenges for the protection of both military and civilian critical infrastructure. The coordinated use of small, low-cost drones enables effective attacks against high-value targets located deep behind the front line, while the success of such operations largely depends on comprehensive preparation rather than solely on the technical capabilities of the platforms. Based on the lessons learned from the operation, this paper examines the emerging vulnerabilities of critical infrastructure and the need for a revised protection approach. It then proposes an indicator-based methodology capable of supporting early warning by identifying logistical, technological, informational, and human indicators associated with attack preparation. The paper argues that artificial intelligence can significantly enhance the processing of large volumes of heterogeneous data through data fusion, anomaly detection, and decision-support capabilities. It concludes that effective protection against future drone threats should extend beyond physical and electronic countermeasures and increasingly rely on indicator analysis supported by artificial intelligence to improve the early detection and prevention of hostile operations.

Keywords: operation spiderweb, critical infrastructure protection, unmanned aerial systems, artificial intelligence, early warning, indicator-based threat analysis.

¹ Nemzeti Közszerológati Egyetem, Katonai Műszaki Doktori Iskola, doktorandusz hallgató, E-mail: vegh.krisztian@hm.gov.hu; ORCID: 0000-0001-6969-968X.

BEVEZETÉS

Az elmúlt évtized fegyveres konfliktusait alapvetően átalakította az UAS² katonai alkalmazása. A korábban elsősorban felderítési feladatokat támogató eszközök napjainkra a precíziós csapásmérés, a mélységi műveletek és a kritikus infrastruktúrák elleni támadások meghatározó képességévé váltak. [1] A kereskedelmi technológiák gyors fejlődése, az alacsony beszerzési költség és a könnyű hozzáférhetőség következtében a pilóta nélküli rendszerek alkalmazása már nem kizárólag a technológiailag fejlett államok sajátossága, hanem a modern hadviselés egyik legfontosabb aszimmetrikus erőmultiplikátorává vált.

Az orosz–ukrán háború számos példával igazolta ezt a folyamatot, azonban a 2025. június 1-jén végrehajtott Pókháló-hadművelet (*Operation Spiderweb*) új minőséget képviselt. [2] A művelet során az ukrán biztonsági szolgálatok összehangolt dróntámadást hajtottak végre több, az orosz stratégiai mélységben elhelyezkedő légibázis ellen, jelentős veszteséget okozva a nagy értékű stratégiai repülőeszközökben. A hadművelet ugyanakkor nem csupán a csapásmérés eredményessége miatt tekinthető mérföldkönek, hanem azért is, mert rámutatott arra, hogy a hagyományos légibázis-védelem alapfeltevései a drónkorszakban már nem minden esetben érvényesek. A rendelkezésre álló nyílt forrású információk alapján azonban megállapítható, hogy a művelet sikerének elsődleges oka nem önmagában az alkalmazott dróntechnológia volt. A kis méretű COTS³ drónok műszaki paraméterei önmagukban nem jelentenek technológiai újdonságot, ilyen eszközök a jelenlegi konfliktusokban széles körben elterjedtek. A siker kulcsa sokkal inkább a hosszú időn át tartó hírszerzési, logisztikai és szervezési előkészítésben, a fedésben, a célfelderítésben, valamint a művelet összehangolt végrehajtásában keresendő. Másként fogalmazva, a támadás már jóval az első drón felszállása előtt megkezdődött. Meglátásom szerint ez a felismerés alapvetően új megközelítést indokol a kritikus infrastruktúrák védelmében.

A hagyományos drónelhárítási rendszerek döntően a támadóeszköz észlelésére, azonosítására, követésére és leküzdésére koncentrálnak. E megközelítés ugyan továbbra is nélkülözhetetlen, azonban egy Spiderweb típusú művelet esetében a védelem sikerességét egyre inkább az határozza meg, hogy a támadás előkészítésének jelei milyen korán azonosíthatók. A logisztikai előkészületek, a szokatlan szállítási tevékenységek, a célterülethez kapcsolódó felderítési aktivitás, a kommunikációs mintázatok vagy más, önmagukban jelentéktelennek tűnő események együttes értékelése olyan indikátorokat képezhet, amelyek megfelelő elemzés esetén lehetővé teszik a fenyegetés korai felismerését. A hadművelet másik fontos tanulsága, hogy a fenyegetés nem szükségszerűen korlátozódik katonai repülőterekre. Minden nagy értékű, statikus katonai vagy civil infrastruktúra, így a vezetési pontok, logisztikai bázisok, lőszerraktárak, energetikai létesítmények, adatközpontok vagy közlekedési csomópontok potenciális célponttá válhatnak, amennyiben a támadó képes kihasználni a fizikai védelem, a belső biztonság [3] vagy a logisztikai folyamatok sérülékenységét.

A kritikus infrastruktúrák védelmének ezért a jövőben nem kizárólag a támadó drónokra, hanem a teljes támadási ciklusra kell kiterjednie. A tanulmány célja annak bemutatása, hogy a Pókháló-hadművelet milyen általánosítható következtetésekkel szolgál

² UAS: Unmanned Aerial Systems – pilóta nélküli légi jármű-rendszerek.

³ COTS: commercial-off-the-shelf – kereskedelmi forgalomban kapható.

a kritikus infrastruktúrák drónvédelme szempontjából. Ennek érdekében áttekinti a hadművelet legfontosabb tapasztalatait, majd egy indikátoralapú elemzési keretet vázol fel, amely alkalmas lehet a támadások előkészítésére utaló jelek rendszerezésére és értékelésére. A tanulmány végül ismerteti, hogy a mesterséges intelligencián alapuló adatfúziós, anomáliadetektálási és döntéstámogató eljárások miként járulhatnak hozzá egy olyan korai előrejelző képesség kialakításához, amely a hagyományos C-UAS⁴ rendszereket kiegészítve már a támadás előkészítési szakaszában támogathatja a döntéshozókat.

A tanulmány kvalitatív kutatási megközelítést alkalmaz, amely nyílt forrású hírszerzési információk, tudományos publikációk, nemzetközi szakpolitikai dokumentumok és katonai elemzések szisztematikus feldolgozására épül. A kutatás kiindulópontját a 2025. június 1-jén végrehajtott ukrán Pókháló-hadművelet képezte, amelyet esettanulmányként alkalmazva kerültek feltárára a kritikus infrastruktúrák elleni korszerű drónműveletek általánosítható jellemzői és tanulságai.

A kutatás során alkalmazott módszertan első lépéseként a hadművelet előkészítésének és végrehajtásának nyílt forrásból rekonstruálható elemei kerültek elemzésre. Ezt követően a feltárt események tartomelemzésével azonosításra kerültek azok a logisztikai, infokommunikációs és humán tényezők, amelyek a támadás előkészítési szakaszában megfigyelhető indikátorként értelmezhetők.

A kutatás szintetizáló szakaszában az azonosított indikátorok integrált értékelésére egy koncepcionális, mesterséges intelligenciával támogatott döntéstámogató modell került kidolgozásra. A javasolt modell nem egy konkrét informatikai rendszer műszaki megvalósítását írja le, hanem egy olyan elméleti keretet vázol fel, amely alkalmas lehet a különböző adatforrásokból származó indikátorok adatfúziójára, a mintázatok felismerésére és a kritikus infrastruktúrák elleni dróntámadások korai előrejelzésének támogatására.

A PÓKHÁLÓ-HADMŰVELET ÖSSZEFOGLALÁSA

2025. június 1-jén Ukrajna Biztonsági Szolgálat (SBU) egy példa nélküli, mélységi drónműveletet hajtott végre Oroszország stratégiai légibázisai ellen, amely a „Operation Spiderweb” fedőnevet kapta (ukránul: „Pavutýna”). A támadás sajátossága abban állt, hogy olcsó, rövid hatótávolságú FPV-drónokat⁵ alkalmazott (117–150 egység), amelyeket orosz területen belül, teherautókba és mobil faházakba rejtve helyeztek ki, majd innen indítottak a célbázisok ellen:

- Belaya légibázis (Irkutszk terület, Kelet-Szibéria);
- Gyagilevo légibázis (Rjazany régió);
- Ivanovo Severny légibázis (Ivanovo térsége);
- Olenya légibázis (Murmanszk, sarkkör közeli térség);
- Ukrainka légibázis (Amuri terület, Távol-Kelet).

A művelet az orosz stratégiai légierő egyik legsúlyosabb veszteségét okozta a háború kezdete óta. A művelet jelentőségét az adja, hogy stratégiai mélységben, több ezer kilométerre

⁴ C-UAS: Counter - Unmanned Aircraft Systems – drónvédelem; drónelhárítás.

⁵ FPV: First-Person-View – a kezelő azt látja, amit a drón „lát”.

az ukrán határtól ért el célokat, több légibázist támadott szinkronizáltan nagy értékű, nehezen pótolható repülőeszközöket semmisítve vagy rongálva meg. Az első ukrán bejelentések szerint 41 gép semmisült meg, míg az orosz hivatalos kommentárok szerint húsz repülőgépet érintett a támadássorozat, és tíz gép rongálódott meg helyreállíthatatlanul. [4] A RUSI⁶ szakértőinek vizsgálata [5] megállapította, hogy nyolc Tu–95 bombázó, egy Tu–22M3, több Tu–95s és egy A–50U AWACS semmisült meg, ami jelentős hatással lesz az Orosz Föderáció stratégiai légierijére.

A művelet során alkalmazott FPV-drónok által célba juttatott töltetek tömegéről pontos információk nem állnak rendelkezésre, azonban olyan vezérlési, irányítási technikát alkalmaztak, melyek MI⁷ által támogatott rendszerként a megsemmisíteni tervezett repülőgépek felismerését és gyenge pontjaik pontos kiválasztását és a célpontok drónok közötti elosztását tették lehetővé. Mindenhez tanulási és kiképzési folyamatokra is szüksége volt a végrehajtó állománynak, ehhez a poltavai repülőgépmúzeumban kiállított stratégiai eszközöket vették igénybe. [6]

A LOGISZTIKAI INDIKÁTOROK

A nyilvánosan hozzáférhető információk alapján a művelet egy többlépcsős ellátási láncra épült, amely magában foglalta az eszközök beszerzését, rejtett szállítását, ideiglenes tárolását, a célterület közelében történő előkészítést, majd a szinkronizált alkalmazását. A lánc részletes felépítése ugyanakkor nyilvánosan nem ismert.

A Pókháló-hadművelet egyik legfontosabb ismérve, hogy sikerét nem elsősorban az alkalmazott pilóta nélküli légijármű-rendszerek műszaki fejlettsége, hanem a hosszú időn keresztül végrehajtott hírszerzési, logisztikai és műveleti előkészítés alapozta meg. A művelet előkészítése megközelítőleg 18 hónapot vett igénybe, amely során a célpontok felderítése, a logisztikai lánc kiépítése és a végrehajtás összehangolása párhuzamosan zajlott. [7]

A nyilvánosan elérhető információk alapján a támadó fél a rövid hatótávolságú FPV-drónokat nem közvetlenül Ukrajna területéről indította, hanem azokat előzetesen Oroszország területére juttatta. A Reuters részletes rekonstrukciója szerint a pilóta nélküli eszközöket tehergépjárművekben és mobil faszervezetű tárolókban rejtették el, majd a kijelölt célterületek közeléből indították útjukra. Ez a megoldás lehetővé tette a drónok korlátozott hatótávolságának áthidalását, miközben jelentősen csökkentette a hagyományos határvédelmi és légtérelenőrző rendszerek szerepét.

A logisztikai előkészítés egyik legfontosabb eleme a civil infrastruktúra kihasználása volt. Egy ausztrál tanulmány rámutat arra, hogy a szállítási lánc, a fedőtevékenység és a civil járművek alkalmazása egy olyan rejtett logisztikai hálózatot alkotott, amely a művelet végrehajtásának nélkülözhetetlen feltételét jelentette. Ebben az értelemben a hadművelet sikerének kulcsa nem kizárólag a dróntechnológia alkalmazása, hanem a logisztikai rendszer katonai célú adaptálása volt, *a Pókháló-hadművelet valódi innovációja nem a dróntechnológiában, hanem a stratégiai gondolkodásban és az eltérő technológiák kreatív integrációjában rejlett.* [8]

⁶ RUSI: Royal United Services Institute.

⁷ MI: mesterséges intelligencia.

A művelet egyidejűleg több, egymástól jelentős távolságra fekvő stratégiai légibázis ellen irányult, ami magas szintű időszinkronizációt és vezetésirányítást feltételez. A *Reuters* időrendi rekonstrukciója szerint a támadások közel azonos időben érték a kijelölt célpontokat, ami arra utal, hogy a végrehajtás mögött részletes műveleti tervezés és összehangolt parancsnoki rendszer állt.

A fentiek alapján megállapítható, hogy a Pókháló-hadművelet elsődleges tanulsága nem a felhasznált drónok technikai újdonsága, hanem az, hogy a támadás sikerét egy komplex előkészítési folyamat biztosította. Ez a felismerés a kritikus infrastruktúrák védelmében is szemléletváltást indokol. A hangsúlyt a támadóeszközök kizárólagos leküzdéséről a támadás előkészítésének korai felismerésére kell helyezni. Ennek alapját azoknak a logisztikai (és hírszerzési, információs) indikátoroknak az azonosítása képezheti, amelyek a művelet végrehajtását megelőzően már érzékelhetők, és megfelelő elemzés esetén korai figyelmeztetésként szolgálhatnak.

A logisztikai indikátorok elemzése rámutat arra, hogy a Spiderweb típusú műveletek végrehajtását minden esetben egy összetett beszerzési, szállítási, tárolási és előkészítési folyamat előzi meg. E tevékenységek jelentős része – önmagában vizsgálva – nem tekinthető

1. táblázat. Logisztikai indikátorok és lehetséges forrásaik (szerkesztette a szerző)

Indikátorcsoport	Megfigyelhető jel	Lehetséges adatforrás
Tehergépjármű-forgalom	Azonos vagy hasonló tehergépjárművek ismétlődő megjelenése a védett objektum környezetében	ANPR-rendszerek,* útdíjfizetési adatok, CCTV,** közúti forgalomfigyelés
Szállítási útvonalak	A megszokottól eltérő vagy indokolatlan útvonalhasználat	GPS-flottakövetés,*** ANPR, közlekedési elemzés
Rövid idejű megállások	Ismétlődő rövid várakozások stratégiai objektumok közelében	CCTV, ANPR, járőrszolgálati jelentések
Ideiglenes tárolás	Konténerek, mobil raktárak vagy ideiglenes építmények megjelenése	Műholdfelvételek, drónfelderítés, helyszíni felderítés
Raktárbérlés	Rövid időre bérelt raktárak vagy telephelyek megjelenése	Ingatlannyilvántartások, kereskedelmi adatbázisok, HUMINT****
Drónalkatrészek beszerzése	FPV-alkatrészek, akkumulátorok, villanymotorok, kamerák vagy rádiómodulok nagy mennyiségű beszerzése	Vámhatósági adatok, kereskedelmi adatbázisok, ellátásilánc-elemzés, OSINT*****
Ellátási lánc anomália	Új beszállítók, szokatlan szállítási kapcsolatok vagy ismétlődő kis volumenű szállítmányok ugyanarra a címre	Beszállítói nyilvántartások, logisztikai adatbázisok, pénzügyi elemzés
Időbeli logisztikai anomália	Éjszakai vagy hétvégi szállítások számának hirtelen növekedése	Forgalmi adatbázisok, ANPR, logisztikai nyilvántartások
HME-alapanyagok***** forgalma	Kis mennyiségű alapanyagok megnövekedett szállítása ugyanarra a címre	Beszállítói nyilvántartások, logisztikai adatbázisok, pénzügyi elemzés

* ANPR: Automatic Number Plate Recognition – automata rendszámfelismerő.

** CCTV: close-circle-TV – zártláncú videórendszer.

*** GPS: Globan Positioning System – globális helymeghatározó rendszer.

**** HUMINT: Human Intelligence – személyes információgyűjtés.

***** OSINT: Open Source Intelligence – nyílt forrású információgyűjtés.

***** HME: home-made-explosive – házi készítésű robbanóanyag.

rendkívülinek, azonban térben és időben összehangolt megjelenésük már olyan mintázatot alkothat, amely egy előkészítés alatt álló műveletre utalhat. A logisztikai indikátorok értéke ezért nem az egyes események elkülönített értelmezésében, hanem azok összefüggéseinek feltárásában rejlik.

A különböző logisztikai adatforrások például az ANPR, a térfigyelő kamerák, a szállítási és ellátási láncok nyilvántartásai, valamint a nyílt forrású információk együttes elemzése lehetőséget biztosít olyan anomáliák azonosítására, amelyek hagyományos elemzési módszerekkel nehezen ismerhetők fel. Az MI alkalmazása ebben a folyamatban kiemelt jelentőségű, mivel képes nagymennyiségű, heterogén adat valós idejű feldolgozására, a rejtett összefüggések feltárására és a normál működéstől eltérő logisztikai mintázatok automatikus felismerésére. Ennek eredményeként a logisztikai indikátorok nem csupán a támadások utólagos rekonstrukcióját szolgálhatják, hanem egy AI-alapú *riasztási rendszer* részeként hozzájárulhatnak a kritikus infrastruktúrák elleni dróntámadások előkészítésének időben történő felismeréséhez és a megelőző védelmi intézkedések meghozatalához.

AZ INFOKOMMUNIKÁCIÓS INDIKÁTOROK

A Pókháló-hadművelet egyik legjelentősebb újítása – annak logisztikai jellegéből fakadó mellett – azok vezérlési és kommunikációs architektúrájában jelent meg. A NATO C-IED COE elemzése szerint a művelet során alkalmazott FPV-drónok nagy valószínűséggel nem hagyományos rádiófrekvenciás irányítással működtek, hanem kereskedelmi mobil adatátviteli hálózatokat használtak a távoli aktiválásra, vezérlésre és – legalább részben – a videójelek továbbítására. Ez a megoldás jelentősen növelte a művelet rugalmasságát, mivel a kezelőknek nem kellett a célterület közvetlen közelében tartózkodniuk.

A jelentés alapján nem találtak olyan bizonyítékot, amely helyszíni drónirányító átlomás jelenlétére utalt volna. A műholdas kommunikáció alkalmazását sem támasztották alá a rendelkezésre álló vizuális bizonyítékok. A legvalószínűbb megoldás az LTE⁸/4G mobilhálózat használata volt, amely LTE-modemeken keresztül biztosíthatta a konténerek nyitását, a drónok aktiválását, valamint bizonyos esetekben a kommunikációs kapcsolat fenntartását. Az LTE-modemek praktikusán alkalmazhatók lehetnek:

- a drón vagy a tárolóegység távoli aktiválására;
- telemetriai adatok továbbítására;
- videokép továbbítására;
- repülési paraméterek módosítására;
- szoftverfrissítésre;
- a vezérlőegység és a drón közötti adatkapcsolat biztosítására.

A jelentés feltételezi, hogy a kommunikációs egység mikroszámítógéppel kapcsolódhatott össze, amely repülésvezérlő szoftvert és MI-támogatott képfeldolgozó algoritmusokat futtatott.

⁸ LTE: Long Term Evolution (modem) – olyan kommunikációs eszköz, amely lehetővé teszi, hogy egy elektronikus berendezés a 4G/LTE mobiltelefon-hálózaton keresztül adatkapcsolatot létesítsen.

A támadás során alkalmazott vezérlési rendszer valószínűleg több autonómiaszintet ötvözött. A drónok előre programozott repülési útvonallal rendelkezhettek, miközben fedélzeti számítógépes látórendszerük felismerte a kijelölt célokat és képes volt megkülönböztetni a valódi repülőgépeket a makettektől vagy festett álcaelemekből kialakított csali-eszközöktől. A mesterséges intelligencia feladata lehetett továbbá a célpontok szétosztása az egyes drónok között, valamint a repülőgépek legsérülékenyebb szerkezeti pontjainak – például a szárnyak üzemanyagtartályainak – kiválasztása.

A jelentés két lehetséges működési modellt vázol fel. Az első szerint a drónok egymással adatkapcsolatban álltak, és egy rajként működve folyamatosan megosztották egymással a már támadott célpontokra vonatkozó információkat, elkerülve a felesleges többszörös csapásokat. A második modell szerint nem létezett drón–drón kommunikáció; ebben az esetben minden eszköz előre meghatározott koordináták alapján repült a kijelölt célterületre, ahol fedélzeti képfeldolgozó rendszerrel önállóan azonosította és támadta meg a célpontot. A rendelkezésre álló bizonyítékok egyik modellt sem igazolják teljes bizonyossággal, ugyanakkor mindkettő arra utal, hogy a kommunikációs infrastruktúra és a fedélzeti autonómia kombinációja meghatározó szerepet játszott a művelet sikerében.

A kritikus infrastruktúrák védelme szempontjából mindez azt jelenti, hogy a jövőbeni korai előrejelző rendszereknek nem kizárólag a drónok fizikai jelenlétére kell koncentrálniuk. Legalább ilyen fontos a támadáshoz szükséges infokommunikációs infrastruktúra kiépítésének felismerése, mivel annak számos eleme már a végrehajtás előtt észlelhető lehet.

Az infokommunikációs indikátorok jelentősége abban rejlik, hogy a Pókháló típusú műveletek végrehajtásához szükséges kommunikációs és vezérlési infrastruktúra számos eleme már a támadás megkezdése előtt megjelenhet. Bár az egyes kommunikációs események vagy adatforgalmi anomáliák önmagukban nem tekinthetők egy készülő támadás bizonyítékának, más indikátorcsoportokkal – különösen a logisztikai és humán indikátorokkal – együttesen értékelve jelentősen növelhetik a fenyegetés korai felismerésének valószínűségét. A különböző forrásokból származó infokommunikációs adatok

2. táblázat. Infokommunikációs indikátorok és lehetséges forrásaik (szerkesztette a szerző)

Indikátorcsoport	Megfigyelhető jel	Lehetséges adatforrás
Mobil adatkommunikáció	Ismétlődő LTE/4G adatkapcsolatok a védett objektum környezetében	Távközlési szolgáltatók, rádióspektrum-monitoring
SIM-kártya aktivitás	Rövid idő alatt aktivált, egymással összefüggő előfizetések	Távközlési elemzés, bűnüldözési adatok
Képfeldolgozó AI	Repülőgép-felismerő modellek fejlesztése vagy tesztelése	Nyílt források, fejlesztői platformok
Adatforgalmi anomália	Rövid idejű, nagy intenzitású adatforgalom stratégiai objektumok közelében	Hálózatmonitorozás
Kommunikációs relépontok	Ideiglenes LTE-modemek vagy kommunikációs átjátszó eszközök megjelenése	Spektrumfigyelés, fizikai felderítés
Távoli aktiválás	Egyidejű kommunikáció több mobil végponttal	Távközlési mintázatelemzés
Időszinkronizáció	Több egymástól távoli kommunikációs esemény pontos időbeli egybeesése	Többforrású adatfúzió

mennyisége és komplexitása miatt azok valós idejű feldolgozása hagyományos elemzési módszerekkel csak korlátozottan valósítható meg. Ezzel szemben az MI-támogatott adatfúziós és anomáliadetektáló eljárások képesek a látszólag független események közötti összefüggések feltárására, ezáltal támogatva egy olyan *korai előrejelző* rendszer kialakítását, amely a támadás előkészítési fázisában is képes figyelmeztetni a döntéshozókat.

HUMÁN INDIKÁTOROK

Egy Spiderweb típusú művelet végrehajtása nem kizárólag technológiai és logisztikai feladat, hanem jelentős humán erőforrásokat is igényel. A célpontok felderítése, a logisztikai lánc kialakítása, a fedőtevékenység fenntartása, valamint a drónok telepítése és aktiválása olyan személyi közreműködést feltételez, amely a végrehajtást megelőző időszakban különböző megfigyelhető viselkedési mintázatokban jelenhet meg.

A kritikus infrastruktúrák védelme szempontjából ezért a humán indikátorok elemzése a korai előrejelző rendszerek fontos elemét képezheti. A kritikus infrastruktúrák védelmével és a belső fenyegetések kutatásával foglalkozó szakirodalom rámutat arra, hogy a támadások előkészítésének egyik legfontosabb sajátossága az emberi tényező jelenléte. [9] A támadó szervezetek gyakran támaszkodnak olyan személyekre, akik jogos vagy könnyen megszerezhető hozzáféréssel rendelkeznek egy adott objektumhoz, illetve képesek annak környezetében hosszabb időn keresztül feltűnés nélkül tevékenykedni. Az „insider threat” kutatások szerint a viselkedési mintázatok, a hozzáférési szokások és a személyi kapcsolatrendszerek elemzése jelentősen hozzájárulhat a fenyegetések korai felismeréséhez. Spiderweb típusú műveletek esetében a humán indikátorok nem önmagukban bizonyítják egy támadás előkészítését, hanem más indikátorcsoportokkal – logisztikai, infokommunikációs vagy műszaki jelekkel – együtt értékelve növelik a fenyegetés valószínűségét. A célpont ismétlődő megfigyelése, az infrastruktúra környezetében megjelenő ismeretlen személyek, a rövid időre alkalmazott külső vállalkozók, a szokatlan karbantartási vagy szállítási tevékenység, illetve a belső munkafolyamatok iránti indokolatlan érdeklődés mind olyan jelenségek lehetnek, amelyek strukturált értékelés esetén korai figyelmeztető jelként szolgálhatnak.

A modern korai előrejelző rendszerekben a humán indikátorok értékelése már nem kizárólag emberi elemzők feladata. A mesterséges intelligencia képes különböző adatforrások – például beléptetőrendszerek, látogatói naplók, kamerarendszerek, incidensjelentések és nyílt forrású információk – együttes elemzésére, valamint a normál működéstől eltérő viselkedési mintázatok azonosítására. A fenyegetések felismerése nem egyetlen eseményhez, hanem több, önmagában jelentéktelennek tűnő emberi aktivitás együttes értékeléséhez kapcsolódik.

A humán indikátorok elemzése rávilágít arra, hogy a Spiderweb típusú műveletek előkészítése elválaszthatatlan az emberi tényezőtől. A felderítési tevékenység, a logisztikai lánc működtetése, a fedőtevékenység fenntartása, valamint a célterület környezetében végzett előkészítő feladatok olyan emberi aktivitásokat generálnak, amelyek megfelelő adatgyűjtés és elemzés mellett korai figyelmeztető jelként értékelhetők. Ugyanakkor az egyes humán indikátorok önmagukban rendszerint nem elegendők egy támadás előrejelzésére, mivel azok a mindennapi működés során is előfordulhatnak. Jelentőségük elsősorban abban rejlik, hogy más indikátorcsoportokkal – különösen a logisztikai, és infokommunikációs

3. táblázat. Humán indikátorok és lehetséges forrásaik (szerkesztette a szerző)

Indikátorcsoport	Megfigyelhető jel	Lehetséges adatforrás
Személyes megfigyelés	Ismétlődő megfigyelés védett objektum közelében	CCTV, őrszolgálati jelentések
Fedőtevékenységek lehetősége	Rövid időre alkalmazott külső vállalkozók, munkavállalók megjelenése	HR, [*] szerződéses nyilvántartások
Információgyűjtés	Szokatlan mértékű érdeklődés a biztonsági rendszerek iránt	Biztonsági incidensjelentések
Objektumfelderítés	Ismétlődő fotó- vagy videókészítés	CCTV, őrszolgálati jelentések
Insider fenyegetés	Jogosultsági anomáliák, szokatlan belépések	Beléptető rendszer adatbázisa
Előkészítői tevékenység	Munkaidőn túli fokozott jelenlét	Beléptető rendszer adatbázisa
Célpontfelderítés	Ismeretlen személyek rendszeres megjelenése	Beléptető rendszer adatbázisa, őrjelentések

^{*} HR: Human Relations – társadalmi kapcsolatok.

indikátorokkal – együttesen értékelve képesek növelni a fenyegetés felismerésének megbízhatóságát.

A humán indikátorok értékelése nagy mennyiségű, eltérő jellegű információ egyidejű feldolgozását igényli, amely hagyományos módszerekkel jelentős erőforrást és hosszú elemzési időt követel. A mesterséges intelligencián alapuló adatfúziós és viselkedéselemző eljárások ezzel szemben képesek különböző adatforrások például beléptetőrendszerek, kamerarendszerek, őrszolgálati jelentések, incidensnaplók és nyílt forrású információk integrált feldolgozására, valamint a normál működéstől eltérő viselkedési mintázatok automatikus azonosítására. Ennek eredményeként a humán indikátorok egy MI-alapú *early warning*⁹ rendszer fontos elemévé válhatnak, amely a kritikus infrastruktúrák védelmében támogatja a döntéshozókat a potenciális fenyegetések időbeni felismerésében és a megelőző intézkedések meghozatalában.

Úgy gondolom, hogy a fentiekben ismertetett, logisztikai, infokommunikációs és humán indikátorok rendszere környezete már egységes szerkezetet biztosít az MI-támogatott korai előrejelző rendszer alapfunkcióinak beazonosítására. Mindegyik ugyanarra a következtetésre jut: egyetlen indikátor ritkán elegendő a fenyegetés azonosításához, azonban a különböző indikátorcsoportok integrált, mesterséges intelligenciával támogatott elemzése jelentősen növelheti a korai előrejelzés hatékonyságát.

AZ MI-ALAPÚ INDIKÁTORELEMZÉS KONCEPCIÓJA

A Spiderweb-hadművelet elemzése rámutatott arra, hogy egy összetett drónművelet előkészítése során a különböző indikátorcsoportok nem elszigetelten, hanem egymással összefüggésben jelennek meg. A logisztikai előkészületek, az infokommunikációs infrastruktúra kiépítése, valamint a humán tevékenységek együttesen alkotják azt a műveleti

⁹ Early warning: korai előrejelző.

környezetet, amely megelőzi a támadás végrehajtását. Az egyes indikátorok önmagukban rendszerint nem tekinthetők elegendő bizonyítéknak egy készülő művelet azonosítására, ugyanakkor együttes értékelésük lehetővé teszi olyan összefüggések feltárását, amelyek hagyományos elemzési módszerekkel nehezen vagy egyáltalán nem ismerhetők fel.

A kritikus infrastruktúrák védelmében alkalmazott korai előrejelző rendszerek egyik legnagyobb kihívását az jelenti, hogy a releváns információk számos, egymástól független adatforrásból származnak. A közlekedési és logisztikai adatbázisok, a térfigyelő kamerák, az automatikus rendszámfelismerő rendszerek, a beléptető rendszerek, a mobilkommunikációs hálózatok, valamint a nyílt forrású információk eltérő formátumú, eltérő megbízhatóságú és különböző időpontokban keletkező adatokat szolgáltatnak. Ezen információk manuális feldolgozása rendkívül időigényes, miközben a Spiderweb-hadművelethez hasonló támadások esetében a döntéshozók számára rendelkezésre álló idő folyamatosan csökken.

Erre a problémára kínálhat megoldást egy mesterséges intelligencián alapuló, többforrású indikátorelemző modell, amelynek elsődleges feladata nem a döntéshozatal automatizálása, hanem a különböző adatforrásokból származó információk integrált elemzése és a potenciális fenyegetések korai felismerésének támogatása. A rendszer működésének alapját az adatfúzió képezi, amely lehetővé teszi, hogy az egymástól független logisztikai, infokommunikációs és humán indikátorok egy közös elemzési környezetben jelenjenek meg. Az adatfúzió során a különböző forrásokból származó események térben és időben összekapcsolhatók, ezáltal olyan mintázatok is felismerhetők, amelyek az egyes adatforrások önálló vizsgálata során rejtve maradnának.

Az integrált adatbázis alapján működő MI több, egymást kiegészítő elemzési módszert alkalmazhat. Az anomáliadetektáló algoritmusok képesek azonosítani a normál működéstől eltérő logisztikai vagy kommunikációs eseményeket, míg a mintázatfelismerő modellek a korábban ismert támadási forgatókönyvekhez hasonló eseménysorokat keresik. A korrelációelemző algoritmusok különböző indikátorcsoportok között tárnak fel összefüggéseket, míg a prediktív modellek statisztikai és gépi tanulási módszerekkel becsülhetik meg annak valószínűségét, hogy az észlelt események egy előkészítés alatt álló művelet részét képezik.

A modell kimenete nem egy automatikus döntés, hanem egy dinamikusan változó kockázati értékelés, amely támogatja a döntéshozatalt. Az egyes indikátorok súlyozása, valamint azok együttes értékelése alapján a rendszer képes lehet meghatározni egy adott objektum vagy térség aktuális kockázati szintjét, és szükség esetén korai figyelmeztetést generálni. Ez lehetőséget biztosít arra, hogy a biztonsági szervezetek még a támadás végrehajtása előtt fokozzák a felderítési tevékenységet, megerősítsék a fizikai védelmet, vagy célzott ellenőrzéseket hajtsanak végre.

A javasolt modell fontos sajátossága, hogy az MI nem váltja ki a humán döntéshozatalt, hanem annak támogatását szolgálja. A rendszer feladata a nagymennyiségű adat gyors feldolgozása, a rejtett összefüggések feltárása és a kockázatok prioritizálása, míg a végső döntést minden esetben a megfelelő jogosultsággal rendelkező elemző vagy parancsnok hozza meg. Ez a megközelítés összhangban áll a NATO felelős MI-alkalmazásra vonatkozó alapelveivel, amelyek szerint annak szerepe a döntéstámogatás, nem pedig az autonóm döntéshozatal: „a NATO MI-stratégiája a fejlett algoritmusok és autonóm rendszerek felelős

integrációját támogatja a kollektív védelem és a döntéstámogatás területén, miközben kiemelt hangsúlyt helyez az interoperabilitás megőrzésére, az etikai alapelvek érvényesítésére és a szövetségesek technológiai együttműködésének fenntartására.”[10]

BEFEJEZÉS

A tanulmányban bemutatott modell tudományos újdonsága abban rejlik, hogy a Spiderweb-hadművelet tanulságait nem kizárólag a dróntechnológia vagy a C-UAS rendszerek fejlesztésének szempontjából értelmezi, hanem a támadás teljes előkészítési folyamatát vizsgálja. A logisztikai, infokommunikációs és humán indikátorok integrált, mesterséges intelligenciával támogatott elemzése új megközelítést kínál a kritikus infrastruktúrák védelmében, amely a hangsúlyt a támadó eszközök leküzdéséről a fenyegetések korai felismerésére helyezi át. E szemlélet hozzájárulhat egy olyan előrejelzés-központú védelmi rendszer kialakításához, amely a jövő komplex drónfenyegetéseivel szemben hatékonyabb és proaktívabb védelmi képességet biztosít. Záró gondolatként, vagy inkább kérdésként és egyben a továbbiakban kutatandó területként annak fontosságát emelem ki, hogy az MI C-UAS korai előrejelző rendszer az MI támogatott drónokkal szembeni alkalmazása milyen tudományos, etikai, mérnöki és erkölcsi kérdéseket fog felvetni, és milyen típusú „fegyverkezési versenyt” iniciál a – vélhetően – közeli jövőben. Meggyőződésem ugyanis, hogy MI-rendszerek ellen MI-támogatott védelem nyújthat stabil védelmet.

HIVATKOZOTT IRODALOM JEGYZÉKE

- [1] Kovács Ferenc (2024): A kritikus infrastruktúra stratégiai szerepe az orosz–ukrán háborúban. *Hadtudomány*, 34.(3). pp. 29–39. Forrás: <https://doi.org/10.17047/HADTUD.2024.34.3.29>
- [2] Mazhulin Artem – Holmes Oliver – Swan Lucy – Boulinier Laure – Hecimovic Arnel (2025): Operation Spiderweb: a visual guide to Ukraine’s destruction of Russian aircraft. *The Guardian*. Forrás: <https://www.theguardian.com/world/2025/jun/02/operation-spiderweb-visual-guide-ukraine-drone-attack-russian-aircraft> (Letöltés: 2026. 07. 01.)
- [3] Daruka Norbert (2024): *The Risks of Insider Attacks on Critical Infrastructure*. In: Banasik, Mirosław – Rogozińska, Agnieszka (eds.): *Russian Aggression and European Security*. Warsaw: Difin, pp. 142–157. ISBN: 978-83-8270-337-5. Forrás: <https://ksiegarnia.difin.pl/russian-aggression-and-european-security?utm> (Letöltés: 2025. 11. 19.)
- [4] Collett-White Mike – Dutta Prasanta Kumar – Zafra Mariano (2025): How Ukraine Pulled Off an Audacious Attack Deep Inside Russia. *Reuters*, 2025. június 4. Forrás: <https://www.reuters.com/world/europe/how-ukraine-pulled-off-an-audacious-attack-deep-inside-russia-2025-06-04/> (Letöltés: 2025. 06. 06.)
- [5] Bronk Justin (2025): *Justin Bronk comments on the latest deep strikes on Russia*. Royal United Services Institute (RUSI). Forrás: <https://www.rusi.org/in-the-news/justin-bronk-comments-latest-deep-strikes-russia> (Letöltés: 2025. 06. 03.)
- [6] NATO Counter-Improvised Explosive Devices Centre of Excellence (C-IED COE) (2025): *S146-2025 Threat Analysis: Remotely-controlled Combined Attacks with First Person View (FPV) Explosive-Laden Drones against Russian Strategic Air Force Means by Using Internet Mobile Networks*. Madrid: NATO Counter-Improvised Explosive Devices Centre of Excellence.

- [7] Cahlan Sarah – Baran Jonathan (2025): Ukraine's „Operation Spiderweb” Hit at Least 12 Planes, Visuals Show. *The Washington Post*, 2025. június 3. Forrás: <https://www.washingtonpost.com/investigations/2025/06/03/ukraine-attack-russian-bombers-damage/> (Letöltés: 2025. 06. 04.)
- [8] Joyce Keirin – Vicino Joshua – Spencer Michael – Chapman Matthew (2025): *Lessons for the ADF from Operation Spider's Web*. Air and Space Power Centre, Australian Defence Force, Air/Space 4. Forrás: https://airpower.airforce.gov.au/sites/default/files/2025-08/Joyce_etal_ASPC_BP51571109.pdf (Letöltés: 2025. 06. 18.)
- [9] Daruka Norbert (2025): *Critical Infrastructure Risks from Sabotage*. In: Kovács, Tünde Anna – Fürstner, Igor (eds.): *Critical Infrastructure Protection: Advanced Technologies for Crisis Prevention and Response*. Dordrecht: Springer Nature. pp. 129–139. Forrás: https://doi.org/10.1007/978-94-024-2308-2_9 (Letöltés: 2026. 04. 20.)
- [10] North Atlantic Treaty Organization (NATO) (2021): *Summary of the NATO Artificial Intelligence Strategy*. Brussels: NATO, 2021. Forrás: <https://www.nato.int/en/about-us/official-texts-and-resources/official-texts/2021/10/22/summary-of-the-nato-artificial-intelligence-strategy> (Letöltés: 2026. 07. 11.)

AZ ADDITÍV ELJÁRÁSSAL NYOMTATOTT TÖLTETHÁZAK ELŐNYEI A RENDVÉDELMI ROBBANTÁSTECHNIKAI ALKALMAZÁSOK SORÁN

THE ADVANTAGES OF ADDITIVE- MANUFACTURED CHARGE HOUSINGS IN LAW ENFORCEMENT EXPLOSIVE APPLICATIONS

SZALKAI László¹

ÖSSZEGZÉS

Az additív gyártástechnológiák rohamos fejlődése az elmúlt években a védelmi és rendvédelmi alkalmazásokban is új lehetőségeket teremtett. A 3D-nyomtatás lehetővé teszi olyan egyedi, feladat-specifikus eszközök fejlesztését, amelyek hagyományos gyártási technológiákkal nehezen állíthatók elő. A tanulmány célja annak bemutatása, hogy a 3D-nyomtatott töltetházak milyen előnyöket kínálnak a rendvédelmi robbantástechnikában. A kutatásom során egy saját fejlesztésű, moduláris kialakítású Ajtó Robbantó Kazetta (ARK) került megtervezésre és előállításra. A robbantási kísérletekhez egy magyar fejlesztésű többkomponensű MATRA robbanóanyag, valamint MABISZ 3–5 kategóriájú biztonsági ajtók kerültek felhasználásra akkreditált vizsgálati környezetben. A kísérletek igazolták, hogy a 3D-nyomtatott töltetházak gyorsan módosíthatók, valamint lehetővé teszik a robbanóanyag feladat-specifikus elhelyezését és a robbanási energia célzottabb hasznosítását. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a 3D-nyomtatás a robbantástechnikai eszközfejlesztés hatékony támogató technológiája, amely hozzájárulhat a rendvédelmi műveletek gyorsabb, rugalmasabb és eredményesebb végrehajtásához.

Kulcsszavak: robbantás, nyílászárók, 3D-nyomtatás, rendvédelmi alkalmazás.

ABSTRACT

The rapid advancement of additive manufacturing technologies in recent years has opened up new possibilities in defense and law enforcement applications as well. 3D printing enables the development of unique, mission-specific devices that are difficult to produce using traditional manufacturing technologies. The aim of this study is to demonstrate the advantages that 3D-printed charge housings offer in law enforcement explosive technology. During my research, a proprietary, modularly designed Door Blasting Cassette (ARK) was designed and manufactured. For the blasting experiments, a Hungarian-developed multi-component MATRA explosive and MABISZ Category 3–5 security doors were used in an accredited testing environment. The experiments confirmed that 3D-printed charge housings can be quickly modified and allow for task-specific placement of the explosive and more targeted utilization of the explosive energy. Based on the results, it can be concluded that 3D printing is an effective enabling technology for the development of explosive devices, which can contribute to the faster, more flexible, and more effective execution of law enforcement operations.

Keywords: explosives, doors and windows, 3D printing, law enforcement applications.

¹ NKE KMDI doktorandusz; Terrorelhárítási Központ, Műveleti tiszt/Műszaki specialista. E-mail: szalkai.laszlo81@gmail.com; ORCID: 0000-0002-4843-4591.

BEVEZETÉS

Az additív gyártástechnológiák, közismert nevükön a 3D-nyomtatási eljárások az elmúlt két évtizedben a műszaki fejlesztések egyik legdinamikusabban fejlődő területévé váltak [1]. A technológia fejlődése jelentősen átalakította a prototípusgyártásról, a kis szériás előállításról és az egyedi alkatrészgyártásról alkotott korábbi elképzeléseket. Napjainkra a 3D-nyomtatás már nem csupán a kutatás-fejlesztési folyamatok támogató eszköze, hanem számos iparágban önálló gyártástechnológiaként is megjelent.

Az additív gyártás alapelve eltér a hagyományos forgácsoló vagy alakító technológiáktól. Ezeknél a klasszikus gyártási eljárások során a kívánt alkatrész anyagleválasztással vagy alakítással készül el, addig a 3D-nyomtatás rétegről rétegre építi fel a digitális modell alapján létrehozott testet. Ennek köszönhetően az összetett geometriájú alkatrészek is gazdaságosan előállíthatókká váltak, amelyek hagyományos technológiával csak jelentős költség- és időráfordítással, vagy egyáltalán nem voltak lehetségesek. [2][3]

A 3D-nyomtatás fejlődésével párhuzamosan az alkalmazási területek is kibővültek. A technológia ma már meghatározó szerepet vállal többek között a gépiparban, az autópiparban, a repülőgépiparban, az egészségügyben, az építőiparban, valamint az oktatás és a kutatás-fejlesztés számos területén. [1][3]

A 3D TECHNOLÓGIA MEGJELENÉSE A VÉDELMI IPARBAN

Az additív gyártás jelentősége a védelmi iparban is folyamatosan növekszik. [4] A NATO-tagállamok és más fejlett haditechnikai képességekkel rendelkező országok egyaránt kiemelt kutatási területként kezelik a 3D-nyomtatási technológiák katonai alkalmazását. A fejlesztések célja elsősorban a logisztikai láncok egyszerűsítése, az alkatrész-utánpótlás gyorsítása, valamint a műveleti rugalmasság növelése. A digitális gyártási eljárások lehetővé teszik, hogy egyes alkatrészeket közvetlenül a felhasználás helyszínéhez közel, akár műveleti környezetben is elő lehessen állítani, ezáltal csökkentve a szállítási időt, a raktárkészlet nagyságát és az ellátási lánc sérülékenységet. [2][4]

A hadiiparban a 3D-nyomtatás alkalmazása ma már jelentősen túlmutat a prototípusok előállításán. [3][4] A korszerű harcjárművek, repülőeszközök és pilóta nélküli rendszerek számos olyan alkatrészt tartalmaznak, amelyeket additív gyártástechnológiával készítenek. Ezek mellett egyre nagyobb hangsúlyt kapnak azok a fejlesztések is, amelyek a speciális feladatokra szolgáló egyedi eszközök előállítását célozzák. Ez a szemlélet különösen fontos olyan alkalmazások esetében, ahol a hagyományos gyártási technológiák hosszú átfutási ideje vagy magas költsége jelentős korlátozó tényezőt jelent. [2]

A rendvédelmi szervezetek műszaki fejlesztéseiben hasonló folyamatok figyelhetők meg világszerte. A speciális rendőri és terrorelhárító egységek egyre gyakrabban alkalmaznak saját fejlesztésű technikai eszközöket, amelyek a végrehajtók gyakorlati tapasztalataira épülnek. Ezek az eszközök sok esetben kis darabszámban készülnek, folyamatos fejlesztés alatt állnak. Kialakításuk során elsődleges szempont az adott műveleti feladat követelményeihez történő alkalmazkodás. Ebben a környezetben a 3D-nyomtatás különösen előnyös

megoldást kínál, mivel lehetőséget biztosít a gyors prototípusfejlesztésre, az ismételt módosításokra és a rövid időn belüli újragyártásra. [5][6]

A robbantástechnikai alkalmazások területén ezek az előnyök még hangsúlyosabban jelentkeznek. A robbantó eszközök kiegészítő szerkezeti elemei – különösen a különböző töltetházak, rögzítőelemek és adapterek – jellemzően egyedi kialakítást igényelnek. [6] Az eszköz felhasználását annak alkalmazásának körülményei és a célobjektum geometriai sajátosságai egyaránt befolyásolják. A hagyományos gyártási technológiák alkalmazása ilyen esetekben gyakran gazdaságtalan vagy időigényes. Ezen túlmutatva az additív gyártás lehetővé teszi a konstrukció gyors módosítását, a prototípusok rövid időn belüli elkészítését és a fejlesztési ciklusok jelentős lerövidítését is. [5]

Az additív gyártástechnológia jelentősége ugyanakkor túlmutat az egyedi alkatrészek előállításán. A NATO és számos tagállam fejlesztési programjaiban az additív gyártás már a feltörekvő és rendszerszintű átalakulást előidéző technológiák (Emerging and Disruptive Technologies, EDT) közé sorolható, mivel lehetővé teszi a digitális tervezés és a helyszíni gyártás összekapcsolását. Ennek eredményeként a fejlesztési ciklusok lerövidülnek, csökken az ellátási láncoktól való függőség, valamint lehetővé válik a műveleti környezethez gyorsan adaptálható, feladatspecifikus eszközök előállítása. A rendvédelmi robbantástechnikai alkalmazások esetében ez különösen fontos, mivel az egyes célobjektumok szerkezeti sajátosságai gyakran egyedi töltetház-geometriát igényelnek. [7][8]

A katonai műszaki doktori kutatásom egy jelentős része a nyílászárók erőszakos megnyitását támogató, olyan robbantórendszer kialakítása, mellyel számos területen kívánom alkalmasabbá tenni a műveleti feladatok végrehajtására.

A kutatás alapvető célja annak vizsgálata volt, hogy a rendvédelmi robbantástechnikai feladatok végrehajtása során milyen szervezési, technológiai és műszaki fejlesztések járulhatnak hozzá a beavatkozások hatékonyságának, biztonságának és eredményességének növeléséhez. A vizsgálat kiterjedt a robbantásos nyílászárónyitás személyi, szervezési és technikai feltételrendszerére, valamint a korszerű gyártástechnológiák – különösen a 3D-nyomtatás – alkalmazhatóságára a speciális robbantóeszközök fejlesztése során.

A kutatómunka során abból indultam ki, hogy a speciális rendvédelmi beavatkozások eredményességét nem kizárólag a felhasznált robbanóanyagok teljesítménye határozza meg, hanem legalább ilyen jelentős szerepet játszik a beavatkozó állomány felkészítése, a műveleti eljárások korszerűsítése, valamint a robbantóeszközök kialakítása és alkalmazhatósága. [7][9] Feltételeztem továbbá, hogy a hagyományosan alkalmazott robbantási eljárások elsősorban szabványos nyílászárókra készültek, ezért a napjainkban egyre nagyobb számban megjelenő megerősített vagy robbanásvédelmi kialakítású nyílászárók új műszaki megoldások kidolgozását teszik szükségessé. [8][9]

Kutatásom során azt is vizsgáltam, hogy a korszerű, többkomponensű robbanóanyagok, valamint a 3D-nyomtatási technológia alkalmazása lehetővé teszi-e olyan moduláris robbantóeszközök kialakítását, amelyek egyszerűbben alkalmazhatók, biztonságosabb kezelést tesznek lehetővé, költséghatékonyabban állíthatók elő, valamint gyorsabban adaptálhatók az eltérő műveleti feladatokhoz. Emellett arra is kerestem a választ, hogy a robbanás elleni védelemmel ellátott nyílászárók külső robbantással történő megnyitása milyen feltételek mellett tekinthető eredményes és végrehajtható műszaki feladatnak.

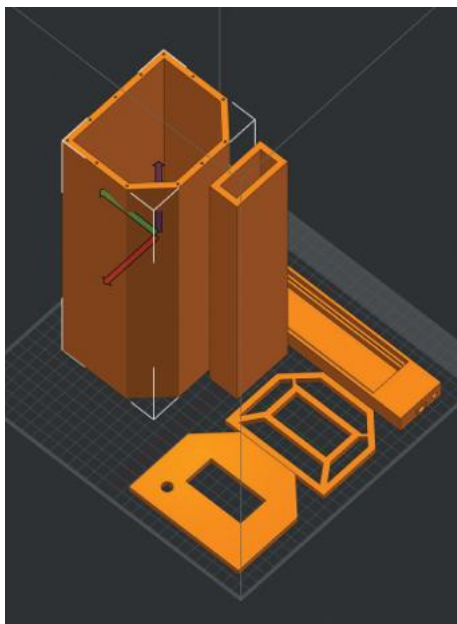
A TÖLTETHÁZ TERVEZÉSI FOLYAMATA

Az Ajtó Robbantó Kazetta fejlesztésének első lépése a digitális tervezés volt. A teljes fejlesztési folyamat CAD (Computer-Aided Design) tervezőszoftverrel kezdődött. Ezt a program lehetővé tette a különböző konstrukciók elképzelések megtervezését, kipróbálását és módosítását még a prototípusok elkészítése előtt. Ez jelentősen lerövidítette a fejlesztési időt, emellett csökkentette a felesleges anyagfelhasználást és a gyártási költségeket. Mivel a robbantástechnikai alkalmazások eredményességét jelentős mértékben befolyásolja a töltetház geometriai kialakítása, ezért a fejlesztés során ennek megtervezése kiemelt hangsúlyt kapott. [5][10][11]

A tervezés megkezdése előtt meghatároztam azokat a műszaki és gyakorlati követelményeket, amelyeknek az új töltetháznak meg kellett felelnie. Figyelembe kellett venni a különböző nyílászárók szerkezeti sajátosságait, a robbanóanyag elhelyezésének lehetőségeit, a rögzítés módját, valamint a 3D-nyomtatásból adódó lehetőségeket és korlátokat. [6][10]

A fejlesztés első lépését a vizsgált biztonsági ajtók szerkezeti elemzése jelentette. A korábbi vizsgálatok alapján megfigyeltem és összegyűjtöttem azokat a szerkezeti elemeket – elsősorban a zárat, a reteszelési pontokat –, amelyek az erőszakos nyitás szempontjából jelentőséggel bírnak. [7] Ennek megfelelően a töltetház kialakítása nem minden esetben az ajtó teljes felületének terhelésére irányult, hanem arra is, hogy a robbanási energia a lehető leghatékonyabban a záródási pontokra koncentrálódjon. [10][11]

A következő lépésben elkészült az ARK első digitális modellje. A külső kialakítás tervezése során figyelembe vettem a nyílászárók anyagszerkezetét, felületét, a robbanóanyag befogadásához szükséges térfogatot, valamint a rögzítés lehetőségeit. Az egyik legfontosabb



1–2. ábra. A töltetház egyik prototípusának digitális terve és fizikai megjelenése (a szerző felvétele)

szempont volt, hogy a töltetház gyorsan telepíthető legyen, ugyanakkor a robbantásig megfelelő mechanikai stabilitást biztosítson.

A fejlesztés során kiemelt figyelmet fordítottam a töltetház belső kialakítására is. A különböző belső kamrák és falvastagságok kialakításának célja az volt, hogy a robbanási energia minél hatékonyabban a kívánt irányba hasson. [5][11] A digitális modellezés lehetőséget adott arra, hogy ezek a kialakítások gyorsan módosíthatók és összehasonlíthatók legyenek, melyeket a robbantási kísérletek alkalmával eredménnyel alkalmaztam.

A fejlesztés nem egyetlen végleges modell elkészítését jelentette, hanem egy folyamatos fejlesztési folyamatot. Az egyes prototípusok elkészítését robbantáskísérletek követték, amelyek eredményeit minden esetben felhasználtam a következő változat tervezésénél. Ennek folytán létrehoztam 100 grammtól 450 grammig terjedő töltettálcát a különböző ajtórobbantási feladatok végrehajtására.

A fejlesztés során alkalmazott iteratív tervezési módszer lényege az volt, hogy minden egyes prototípus és robbantáskísérlet eredménye közvetlenül beépült a következő változat kialakításába. A digitális tervezés, a prototípusgyártás, a kísérleti kipróbálás, az eredmények értékelése és az újratervezés egymásra épülő ciklust alkotott. Ez lehetővé tette a szerkezeti hiányosságok gyors felismerését, a geometriai paraméterek módosítását, valamint a rögzítési és alkalmazási megoldások folyamatos továbbfejlesztését. Az additív gyártástechnológia egyik meghatározó előnye ebben mutatkozott meg, mivel a módosított prototípusok új gyártószerszámok elkészítése nélkül, rövid időn belül előállíthatók voltak. [2][3]

A tervezés során fontos cél volt a szerkezet tömegének csökkentése is. Az első prototípusok alapján egyértelművé vált, hogy a túl nagy tömeg megnehezíti a telepítést és a gyakorlati alkalmazást. A fejlesztési folyamat során igyekeztem, hogy a szükséges szilárdság megtartása mellett a lehető legkevesebb anyagot használjam fel. [3]

A fejlesztés egyik fontos eleme volt a robbanóanyag befogadására szolgáló tálcarendszer megtervezése is. A kutatás során alkalmazott Magyar Többkomponensű Robbanóanyag (MATRA) jól alkalmazkodik az összetettebb geometriákhoz, ezért különös figyelmet fordítottam arra, hogy a töltetház belső kialakítása biztosítsa a robbanóanyag egyenletes eloszlását. Ennek célja az volt, hogy a robbanási energia a lehető leghatékonyabban hasznosuljon, és a töltet működése minden alkalmazás során kiszámítható legyen.

A KÍSÉRLETEK SORÁN ALKALMAZOTT ROBBANÓANYAG

A robbantáskísérletek során egy magyar fejlesztésű többkomponensű robbanóanyag, a MATRA került alkalmazásra. [12][13] A robbanóanyagot eredetileg ipari és katonai felhasználásra fejlesztették ki, elsősorban abból a célból, hogy a hagyományos katonai robbanóanyagok – különösen a TNT, a hexogén és a PETN-alapú plasztikus robbanóanyagok – alkalmazását részben kiváltsa, illetve olyan esetekre, amikor ezek beszerzése vagy alkalmazása korlátozott. A fejlesztés további célja a helyszíni előállíthatóság, valamint a biztonságos tárolás és szállítás biztosítása volt. [12][13]

A MATRA egy kétkomponensű, tixotróp tulajdonságú robbanóanyag-rendszer, amelynek összetevői összekeverést követően stabil, homogén szuszpenziót alkotnak. [12][13] Ennek köszönhetően a robbanóanyag egyszerűen betölthető a különböző kialakítású



3–4. ábra. MATRA robbanóanyag előkészített csomagolásban és az ARK–100 3D-nyomtatott formában (Szalkai L. és Daruka N. felvétele)

töltetházakba, miközben hosszabb tárolás során sem következik be a komponensek szétválása vagy ülepedése. Ez biztosítja az egyenletes sűrűségeloszlást, amely a detonáció megbízható terjedésének egyik alapfeltétele, különösen a kis méretű vagy összetett geometriájú töltetek esetében. [10]

A robbanóanyag egyik fontos tulajdonsága, hogy kis keresztmetszetű töltetekben is megbízhatóan indítható szabványos robbantógyutacccsal, emellett jól alkalmazkodik az egyedi geometriájú töltetházakhoz. [12][13] Korábbi kutatások igazolták alkalmazhatóságát különböző robbantástechnikai feladatok során, többek között vágó- és lyukasztótöltetekben, vízimpulzustöltetekben, [13] valamint robbantással végrehajtott nyílászárónyitások során is. [7]

A kutatás során alkalmazott 3D-nyomtatási technológia tovább növelte a robbanóanyag alkalmazhatóságát. Az additív gyártással előállított töltetházak lehetővé tették, hogy a MATRA az adott feladathoz optimalizált geometriai kialakításban kerüljön felhasználásra. Ez nemcsak a töltetház gyors és költséghatékony elkészítését tette lehetővé, hanem hozzájárult a robbanási energia célzottabb hasznosításához és a funkcionális nyitás hatékonyságának növeléséhez is.

A kutatás során a MATRA nem csupán robbanóanyagként szolgált, hanem a fejlesztett ARK-rendszer egyik meghatározó elemét képezte. Tulajdonságai lehetővé tették moduláris, helyszínen feltölthető töltetházak alkalmazását. Jól illeszkedtek a kutatás célkitűzéseihez, és támogatták a kontrollált energiaátadáson alapuló robbantásos nyílászárónyitási koncepció megvalósítását.

A kutatás tapasztalatai alapján a töltetház nem kizárólag a robbanóanyag befogadására és rögzítésére szolgáló passzív szerkezeti elemként értelmezhető. Geometriai kialakítása, belső kamrarendszere, falvastagsága és a célszerkezethez viszonyított elhelyezése egyaránt befolyásolhatja a robbanási energia térbeli eloszlását és a célfelületre

történő átadását. [5] A töltetház ennek megfelelően olyan funkcionális komponensként jelenik meg, amely közreműködhet az energia célzottabb hasznosításában, és ezáltal hozzájárulhat a szükséges robbanóanyag-mennyiség, valamint a nem kívánt másodlagos hatások mérsékléséhez. [9][11]

A KÍSÉRLETEK HELYSZÍNE ÉS VÉGREHAJTÁSA

A robbantáskísérletek helyszínét a CerTrust Vizsgáló és Tanúsító Kft. biztosította. A vállalat akkreditált megfelelőségértékelő szervezetként jelentős tapasztalattal rendelkezik biztonságtechnikai termékek vizsgálata és tanúsítása terén. A helyszín kiválasztását nemcsak a robbantáskísérletek biztonságos végrehajtása indokolta, hanem az is, hogy a különböző töltetház-kialakításokat összehasonlítható körülmények között vizsgálhassak.

Az akkreditált vizsgálati környezet biztosította a kísérletek szakszerű dokumentálását és a kapott eredmények megbízhatóságát, amely a kutatás hitelessége szempontjából kiemelt jelentőséggel bírt.

Az összehasonlítható vizsgálati körülmények lehetővé tették, hogy az egyes prototípusok működésében tapasztalt eltérések ne elsősorban a környezeti tényezőkre, hanem a töltetház geometriai és szerkezeti módosításaira legyenek visszavezethetők. Ez különösen fontos volt az iteratív fejlesztési folyamat szempontjából, mivel a kísérleti eredmények csak ellenőrzött és megfelelően dokumentált környezetben biztosíthattak megbízható alapot a következő konstrukciós változat kialakításához.



5. ábra. A biztonsági ajtó rögzítőkeretének összeszerelése beállítása
(Szalkai L. és Daruka N. felvétele)



6. ábra. A CerTrust Vizsgáló és Tanúsító Kft. balatonfűzfői robbantó kamrája befogadó ajtókerettel (Szalkai L. és Daruka N. felvétele)

A ROBBANTÁSI KÍSÉRLETHEZ FELHASZNÁLT NYÍLÁSZÁRÓK

A vizsgálatokhoz szükséges biztonsági ajtókat a NÍVŐ Biztonsági Ajtógyártó Kft. bocsátotta rendelkezésre. A MABISZ-ajánlással rendelkező nyílászárók alkalmazásával a kísérletek valós körülményeket modelleztek, így a vizsgálatok nem laboratóriumi próbatesteken, hanem a gyakorlatban is alkalmazott biztonsági ajtókon történtek. [14] A kísérletekhez MABISZ 3–5 kategóriájú biztonsági ajtókat használtam, [14] amelyek ellenálló képessége miatt mechanikus nyitásuk még a hidraulikus feszítőberendezésekkel felszerelt rendvédelmi egységek számára is komoly kihívást jelent. Mivel ezek a típusú ajtók jelenleg is forgalomban vannak így ezáltal megvalósulhatott a fejlesztett robbantóeszközök működésének valós körülmények közötti megfigyelése.

A robbantáskísérletek végrehajtásában kizárólag megfelelő képesítéssel és jogosultsággal rendelkező személyek vettek részt. A robbanóanyagok előkészítése, kezelése és felhasználása, valamint a robbantások irányítása minden esetben az Általános Robbantási Biztonsági Szabályzat előírásainak megfelelően, robbantásvezető vagy robbantomester felügyelete mellett történt. [15] Ez biztosította, hogy a kísérletek a vonatkozó biztonsági előírások betartásával, ellenőrzött körülmények között valósuljanak meg.

A kutatás során végrehajtott robbantáskísérletekkel elvégeztem az additív gyártástechnológiával, PET-G alapanyagból előállított Ajtó Robbantó Kazetta funkcionális



7–8. ábra. Összpontosított töltetházelhelyezés (Szalkai L. és Daruka N. felvétele)



9–10. ábra. A robbanás pillanatai (Kugyela L. drónfelvétele)

validációját. [9][16] A vizsgálatok során a töltetház kialakítását, alkalmazhatóságát, rögzíthetőségét, módosíthatóságát, valamint a robbanóanyaggal és a célszerkezettel kialakuló funkcionális kapcsolatát értékeltem [16]. A kísérleti és fejlesztési tapasztalatok alapján a 3D-nyomtatott töltetházak alkalmazásának következő fő előnyei voltak azonosíthatók.

A 3D-nyomtatott töltetházak alkalmazásának fő előnyei

- Folyamatos rendelkezésre állás és gyors újragyárthatóság.
- A szerelési és összeállítási idő jelentős csökkentése.
- A robbanóanyag komponenseinek elkülönített kezelése révén a kontamináció kockázatának mérséklése.
- A kétkomponensű robbanóanyag elkülönített tárolásából eredő logisztikai és szállítási előnyök.

- Egyszerű és biztonságos összeállíthatóság kedvezőtlen környezeti vagy fokozott stresszhelyzetben is.
- Gyors módosíthatóság és feladat-specifikus testreszabhatóság.
- A telepítési és alkalmazási idő lerövidítése.
- Az egyedi műveleti igényekhez igazítható geometriai kialakítás.
- Gyors prototípus-fejlesztési és tesztelési ciklusok végrehajthatósága.
- Kedvező előállítási és fejlesztési költségek.
- Kis darabszámú vagy egyedi gyártás gazdaságos megvalósíthatósága.
- A digitális tervállományok egyszerű tárolása, módosítása és reprodukálhatósága.
- A felhasználói tapasztalatok gyors visszacsatolása a fejlesztési folyamatba.
- A gyakorlati tapasztalatok gyors beépíthetősége a konstrukcióba.
- Az ajtó típusokhoz és műveleti feladatokhoz igazodó változatok egyszerű kialakíthatósága.

Mindemellett a technológia alkalmazásának bizonyos korlátai is azonosíthatók, amelyek egyes felhasználási területeken kisebb vagy nagyobb mértékben befolyásolhatják annak alkalmazhatóságát. Ezek azonban összességében nem csökkentik érdemben a 3D-nyomtatott töltetházak alkalmazásából származó előnyöket.

A 3D-nyomtatott töltetházak alkalmazásának korlátai

- Az előállítási idő a hagyományos gyártási technológiákhoz képest hosszabb.
- Az egyes felhasználható alapanyagok mechanikai, hőtechnikai és vegyi ellenálló képessége korlátozott.
- A nyomtatási minőség függ a nyomtató típusától, a beállításoktól és a kezelő szakmai felkészültségétől.
- Az elkészült alkatrészek minőségbiztosítása és reprodukálhatósága megfelelő gyártási protokollok kialakítását igényli.
- A nyomtatóberendezések és alapanyagok rendelkezésre állása terepi környezetben korlátozott lehet.
- Az alkalmazott polimer alapanyagok öregedése, UV-sugárzással, nedvességgel vagy hőmérséklet-változással szembeni ellenállása hosszú távú vizsgálatokat igényel.
- Egyes alkatrészek esetében utómunkálatokra (sorjázás, illesztés, felületkezelés) lehet szükség, ami növelheti az előállítási időt.

A KUTATÁS KORLÁTAI ÉS TOVÁBBI FEJLESZTÉSI IRÁNYAI

A bemutatott eredmények értékelése során figyelembe kell venni, hogy a vizsgálatok meghatározott típusú biztonsági ajtókon, az alkalmazott MATRA robbanóanyaggal és PET-G alapanyagból előállított töltetházakkal történtek. Az eredmények ezért elsősorban a vizsgált anyagokra, töltetház-kialakításokra és kísérleti körülményekre vonatkoztathatók. A rendszer szélesebb körű alkalmazhatóságának igazolásához további

vizsgálatok szükségesek eltérő szerkezeti kialakítású nyílászárókon, különböző töltöttömegek, alapanyagok, falvastagságok, belső geometriák és rögzítési megoldások alkalmazásával.

A továbbfejlesztés egyik fontos iránya lehet a töltetház szerkezeti tömegének csökkentése, a rögzítési stabilitás növelése, valamint a belső energiarányító kialakítások optimalizálása. Indokolt lehet továbbá a robbanás során kialakuló lökeshullám, repeszhatás, zajterhelés és szerkezeti igénybevétel műszeres vizsgálata, illetve numerikus modellezési módszerekkel történő elemzése. [17][18] A későbbi kutatásoknak ki kell terjedniük az előállított elemek reprodukálhatóságára, minőségbiztosítására, hosszú távú tárolhatóságára és eltérő környezeti feltételek közötti alkalmazhatóságára is.

Mindezek ellenére megállapítható, hogy a 3D-nyomtatási technológia napjainkra nem csak egy korszerű gyártási eljárási mód. Meglátásom szerint ez egy olyan fejlesztési eszköz, amely képes jelentősen támogatni a védelmi és rendvédelmi szervezetek innovációs tevékenységét is. A gyors fejlesztési lehetősége, a költséghatékony előállítása és a feladat-specifikus alkalmazhatósága alátámasztja alkalmazásának vizsgálatát a rendvédelmi robbantástechnikai feladatok területén is. A kutatásom célja annak bemutatása volt, hogy a 3D-nyomtatott töltetházak milyen előnyöket kínálnak a robbantástechnikai alkalmazások során, különös tekintettel a fejlesztési rugalmasságra, a gazdaságosságra, a logisztikai előnyökre és a gyakorlati alkalmazhatóságra. Mindezek alapján megállapítható, hogy a 3D-nyomtatás olyan innovatív technológiai megoldást jelent, amely hosszú távon is meghatározó szerepet tölthet be a speciális rendvédelmi eszközök fejlesztésében. Ennek megfelelően indokolt megvizsgálni, hogy a technológia milyen előnyöket kínál a robbantástechnikai alkalmazások, különösen a robbantással végrehajtott nyílászárónyitási feladatok támogatása során.

A kutatás eredményei alapján az additív gyártástechnológia alkalmazása nem csupán új előállítási lehetőséget jelent a rendvédelmi robbantástechnikai eszközfejlesztésben, hanem új tervezési és fejlesztési szemléletet is képvisel. A digitális modellezésen alapuló, gyorsan módosítható és feladat-specifikusan optimalizálható töltetházak lehetővé teszik a robbanóanyag célszerűbb elhelyezését és a robbanási energia célzottabb hasznosítását. A technológia további fejlesztése és szabályozott alkalmazási feltételeinek kialakítása hosszabb távon hozzájárulhat a robbantásos nyílászárónyitási feladatok nagyobb reprodukálhatóságához, a felhasznált robbanóanyag mennyiségének racionalizálásához, a másodlagos káros hatások mérsékléséhez, valamint a rendvédelmi beavatkozások biztonságának és műveleti hatékonyságának növeléséhez. [18]

HIVATKOZOTT IRODALOM JEGYZÉKE

- [1] ASTM International (2021): *ASTM ISO/ASTM 52900-21 – Additive manufacturing — General principles — Fundamentals and vocabulary*. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2021. DOI: 10.1520/F3177-21
- [2] Ember István (2022): *3D nyomtató alkalmazási lehetősége egyes speciális robbantási feladatoknál*. Fúrás-Robbantástechnika Nemzetközi Szimpózium Különkiadás 2022. Budapest: Magyar Robbantástechnikai Egyesület, pp. 75–83.

- [3] Kovács Zoltán (2023): *3D nyomtatás és felhasználása a katonai robbantástechnika oktatásában*. II. Fúrás- Robbantástechnika nemzetközi szimpózium különiadás 2023. Budapest, 172 p., pp. 94–103.
- [4] Ember István (2025): *The Possible Impact of the Proliferation of 3D Printers on the Protection of Critical Infrastructure*. Advanced Sciences and Technologies for Security Applications, pp. 303–312. DOI: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-78544-3_24
- [5] Ádám Balázs – Ember István (2022): *Kumulatív töltetházak 3D nyomtatása*. Hadmérnök, 17(3), pp. 35–44. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2022.3.2>
- [6] Szalkai László (2025): Additív gyártási technológiával előállított idomtöltetek alkalmazhatóságának kérdése a rendvédelmi, speciális feladatokat ellátó egységeknél. *Műszaki Katonai Közlöny*, 35.(3–4), pp. 25–37.
- [7] Szalkai László (2023): *Nyílászárók erőszakos nyitásának lehetőségei*. II. Fúrás- Robbantástechnika nemzetközi szimpózium különiadás 2023. pp. 104–117.
- [8] Szalkai László (2024): *Nyílászárók erőszakos nyitásának kihívásai*. III. Fúrás-robbantástechnika nemzetközi szimpózium különiadás 2024. pp. 102–115.
- [9] Daruka Norbert – Szalkai László (2025): *3D nyomtatással készült robbantó kazetta alkalmazhatóságának vizsgálata biztonsági ajtók rombolására*. In: Horváth, R. et al. (szerk.) Proceedings of the Engineering Symposium at Bánki (ESB 2025). Óbudai Egyetem. pp. 90–95. Online: <https://esb.bggk.uni-obuda.hu/kiadvanyok/>
- [10] Cooper Paul W. (1996): *Explosives Engineering*. Wiley-Vch, Weinheim. ISBN 9780471186366, p. 480.
- [11] Remennikov Alex – Mentus Igor – Uy Brian (2015): *Explosive Breaching of Walls with Contact Charges: Theory and Applications*. International Journal of Protective Structures, 6(4), pp. 629–647. DOI: <https://doi.org/10.1260/2041-4196.6.4.629>
- [12] Daruka Norbert – Kugyela Lóránd – Ember István (2025): Többkomponensű robbanóanyag és alkalmazásának lehetőségei I. rész. *Haditechnika* 59/4, pp. 50–55.
- [13] Daruka Norbert – Kugyela Lóránd – Ember István (2025): Többkomponensű robbanóanyag és alkalmazásának lehetőségei II. rész. *Haditechnika* 59/5, pp. 37–43.
- [14] Magyar Biztosítók Szövetsége (MABISZ): *Termék-megfelelési ajánlásrendszer – Mechanikai védelmi eszközök*. Budapest, MABISZ, aktuális kiadás. Online: <https://mabisz.hu>
- [15] 27/2022. (I. 31.) SZTFH rendelet az Általános Robbantási Biztonsági Szabályzatról. (2022). *Magyar Közlöny*, 14. szám.
- [16] Szalkai László – Daruka Norbert (2026): *Examination Of The Practical Applicability Of Door Breaching Charges Manufactured Using Additive Manufacturing Technology*. In: Igor, Kópál et al (szerk.) Trhacia Technika 2026. 35th International Conference, Banská Bystrica, Szlovákia. pp. 224–235.
- [17] Lupoae Marin – Cotovanu Anabella – Casapu Alexandru-Cătălin – Baciú Cătălin – Constantin Daniel – Berechet Dumitru-Costin – Murzea Patricia (2026). *Experimental investigations on explosive breaching mechanisms for exterior metal doors and explosive effects on room occupants*. International Journal of Protective Structures. 17(2), pp. 577–601. DOI: <https://doi.org/10.1177/20414196251378664>
- [18] Kamimori G.H. – Reilly L.A. – LaValle C.R. – U. B. Olaghere Da Silva (2017). *Occupational overpressure exposure of breachers and military personnel*. *Shock Waves* 17(27), pp. 837–847. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00193-017-0738-4>

A ROBBANTÁSSAL MŰKÖDŐ RADIOLÓGIAI DISZPERZIÓS ESZKÖZZEL ELKÖVETETT TERRORCSELEKMÉNYEK KRIMINALISZTIKAI SAJÁTOSSÁGAI

FORENSIC CHARACTERISTICS OF TERRORIST ATTACKS COMMITTED USING RADIOLOGICAL DISPERSION DEVICES ACTIVATED BY EXPLOSION

VOLARICS József¹

ÖSSZEGZÉS

A tanulmány a robbantással működő radiológiai diszperziós eszközzel (eRDD) elkövetett terrorcselekmények helyszíni szemléjének kriminalisztikai sajátosságait vizsgálja. Összehasonlító elemzés keretében bemutatja a robbantásos és a radioaktív anyaggal érintett bűncselekményi helyszínek biztosítására, veszélykezelésére, előzetes értékelésére, valamint a szemle megtervezésére és végrehajtására kialakított eljárásokat. A vizsgálat megállapítja, hogy az eRDD-helyszín feldolgozásának legtöbb eleme a meglévő tűzszerészeti, sugárvédelmi és kriminalisztikai eljárások összehangolt alkalmazásával kezelhető. Sajátos követelményt jelent ugyanakkor a tűzszerészeti átvizsgálás sugárvédelmi támogatása, a radioaktívan szennyezett IED-maradványok felkutatása, dokumentálása, biztosítása és szakértői vizsgálata, továbbá a radiológiai kockázatok és a kriminalisztikai érdekek közötti prioritások meghatározása. A tanulmány rámutat arra, hogy a szakirodalom nem tartalmaz önálló eRDD-specifikus kriminalisztikai zónarendszert vagy egységes végrehajtási protokollt. Az ilyen helyszínek eredményes feldolgozásához ezért az érintett szakterületek feladatainak, felelősségi viszonyainak és együttműködési rendjének előzetes meghatározása szükséges.

Kulcsszavak: radiológiai diszperziós eszköz, kriminalisztikai helyszínfeldolgozás, CBRN-terrorizmus, helyszíni szemle, sugárvédelem, interdiszciplináris együttműködés.

ABSTRACT

This study examines the forensic characteristics of crime scene investigations of terrorist attacks carried out using explosive radiological dispersal devices (eRDDs). Through a comparative analysis, it presents the procedures developed for crime scene security, hazard and risk management, and preliminary assessment at crime scenes involving explosives and radioactive materials, as well as for planning and executing the crime scene investigation. The study concludes that most aspects of processing an eRDD scene can be managed through the coordinated application of existing bomb scene investigation, radiation protection, and forensic procedures. However, specific requirements include radiation protection support for explosive ordnance disposal operations; the detection, documentation, recovery, preservation, and forensic examination of radioactively contaminated IED remnants; and the determination of priorities between radiological safety requirements and forensic objectives. The study highlights that the literature does not contain a standalone eRDD-specific forensic zoning system or a standardized operational protocol. Therefore, the effective pro-

¹ Doktorandusz, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi Doktori Iskola, az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Robbantástechnikai szakmérnök/szakember szakirányú továbbképzés hallgatója. E-mail: volaricsjosef@gmail.com; ORCID: 0000-0001-6828-1775.

cessing of such crime scenes requires the prior definition of the tasks, lines of responsibility, and cooperation procedures of the relevant disciplines.

Keywords: *radiological dispersal device, crime scene processing, CBRN terrorism, crime scene investigation, radiation protection, interdisciplinary cooperation.*

BEVEZETÉS

A téma aktualitása

A globális biztonsági környezet folyamatos változása új kihívásokat és egyre összetettebb fenyegetéseket eredményez, [1] amelyek között kiemelt helyet foglalnak el a CBRN-anyagokkal összefüggő veszélyek. Az Európai Unió meghatározása szerint a CBRN rövidítés olyan vegyi, biológiai, radiológiai és nukleáris anyagokat és ágenseket jelöl, amelyek véletlen vagy szándékos kibocsátásuk, szétszórásuk vagy hatásuk révén potenciálisan károsíthatják a társadalmat. [2] A CBRN fogalom magában foglalja az ilyen anyagok állami és nem állami szereplők általi fegyvercélú felhasználásából eredő fenyegetések teljes körét. [3] Ezek egyik sajátos megjelenési formája a CBRN-terrorizmus, amely veszélyes anyagok rosszindulatú alkalmazását jelenti tömeges áldozatok okozása, széles körű félelem kiváltása és a társadalom működésének megzavarása érdekében. [1]

A CBRN-fenyegetések bekövetkezési valószínűsége alacsony, ugyanakkor potenciális hatásuk és az általuk jelentett kockázat rendkívül magas. Már egy kisebb léptékű vegyi, biológiai, radiológiai vagy nukleáris támadás is jelentős hatást gyakorolhat a társadalomra és a gazdaságra, tartós zavarokat idézhet elő, növelheti a bizonytalanságot, valamint félelmet és pánikot kelthet a lakosság körében. [4] A terroristák számára sok esetben nem a lehető legnagyobb fizikai pusztítás, hanem a támadás által kiváltott propaganda- és pszichológiai hatás bír elsődleges jelentőséggel. Ennek következtében számukra már egy egyszerűbb CBRN-eszköz is megfelelő lehet céljaik elérésére, még akkor is, ha az nem jár tömeges pusztítással. [3]

A terrorista szervezetek és más nem állami szereplők érdeklődést mutatnak a radioaktív és nukleáris anyagok terrorista célú alkalmazása iránt, mivel azok a célzott sugárterheléstől a radiológiai diszperziós eszközök alkalmazásáig többféle támadási módot tesznek lehetővé. [5] A nemzetközi szervezetek által kialakított normákra épülő, az egyes államok által működtetett nukleáris biztonsági rendszerek ellenére továbbra is fennáll a radioaktív és nukleáris anyagok illegális megszerzésének lehetősége. Ezt elősegíti, hogy az RN-anyagokat a polgári felhasználás számos területén alkalmazzák. Az ebből eredő biztonsági kockázatokat tovább növeli a szervezett bűnözés és a terrorizmus közötti kapcsolatok erősödése, az instabil térségek, a korlátozott állami ellenőrzés alatt álló területek, valamint a korábbi katonai és polgári programokból visszamaradt RN-anyagok elérhetősége. [5] A radioaktív és nukleáris anyagokhoz való jogosulatlan hozzáférés első sorban azok terrorista célú felhasználásának lehetősége miatt bír kiemelt jelentőséggel. A potenciálisan súlyos következmények, valamint a felderítés, a megelőzés és a reagálás összetettsége miatt a CBRN-terrorizmus napjaink meghatározó biztonsági kihívásai közé tartozik. [1]

A problémafelvetés

A robbantással elkövetett terrorcselekmények helyszíni feldolgozása önmagában is speciális kriminalisztikai, tűzszerész és igazságügyi szakértői feladatokat igényel, amelyek végrehajtása során a radioaktív anyag jelenléte további biztonsági, sugárvédelmi, bizonyítékbiztosítási és bizonyítási követelményeket támaszt. E sajátosságok indokoltá teszik a robbanóanyaggal kombinált radiológiai diszperziós eszközzel (Radiological Dispersal Device, RDD) elkövetett cselekmények kriminalisztikai sajátosságainak részletes vizsgálatát.

A robbantással elkövetett terrorcselekmények helyszínén lefolytatott szemle alapvető szerepet játszik a robbanás körülményeinek rekonstrukciójában, valamint az elkövetés módjára, az alkalmazott robbanóeszköze és az elkövető személyére vonatkozó bizonyítékok felkutatásában, rögzítésében és biztosításában. [6] A helyszíni tűzszerész átvizsgálását követően kerül sor az alkalmazott robbanóeszköz rekonstrukciójához szükséges tárgytörredékek és anyagmaradványok felkutatására, a robbanóeszköz pusztító hatásának dokumentálására, valamint a robbanóeszköz maradványainak és a robbanóanyag-maradványok biztosítására, illetve mintavételezésére. [7] E feladatok szakszerű végrehajtása tűzszerész és vegyész szakértők közreműködését igényli. [8]

Azokon a bűncselekményi helyszíneken, ahol nukleáris vagy egyéb radioaktív anyag jelenléte ismert vagy feltételezhető, a helyszínfeldolgozás egyik alapvető sajátossága, hogy a biztonsági, sugárvédelmi és büntetőeljárási követelményeket egyidejűleg, összehangoltan kell érvényesíteni. [5] A helyszíni munka első szakaszában az előzetes radiológiai felmérés során meghatározzák a sugárveszély mértékét, lokalizálják a radioaktív források pontokat és kijelölik a biztonságos munkavégzés feltételeit. Ezt követi a radioaktív anyagok és a radioaktív anyagokkal szennyezett bűnjelek szakszerű begyűjtése, majd a helyszíni radiológiai ellenőrzését követően válik lehetővé a helyszíni szemle teljes körű lefolytatása. [9] A helyszínfeldolgozás valamennyi szakaszában alapvető követelmény a büntetőeljárás integritásának megőrzése és valamennyi releváns kriminalisztikai eljárás alkalmazása. [10]

A CBRNe-anyagokkal érintett bűncselekményi helyszíneken végzett szemletevékenység ritkán előforduló és rendkívül összetett szakterület, [5] amely megköveteli a kriminalisztikai és a CBRNe-szakterületek közötti együttműködést, valamint a kölcsönös szakmai ismeretek meglétét. [11]

ELMÉLETI HÁTTÉR ÉS SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

A radiológiai és nukleáris (Radiological and Nuclear, RN) terrorizmus

A terrorizmus fogalmához hasonlóan [12] az RN-terrorizmus tekintetében sem alakult ki egységes, nemzetközileg elfogadott definíció. A különböző meghatározások eltérő tudományterületi megközelítést alkalmaznak, ugyanakkor közös elemük, hogy a radioaktív vagy nukleáris anyagok terroristacélú felhasználását tekintik a jelenség lényegének. Az RDD mint a tanulmány központi témája szempontjából a nukleáris biztonsági (*nuclear*

security) megközelítés tekinthető a legátfogóbbnak, mivel a nukleáris terrorizmus lehetséges megjelenési formáit és azok biztonsági vonatkozásait egységes rendszerben tárgyalja:

A nukleáris terrorizmus olyan terroristacselekmény, amelynek során terroristacsoportok nukleáris vagy radioaktív anyagokat használnak fel abból a célból, hogy félelmet keltsenek és ezáltal politikai céljaikat érvényesítsék. Ide tartozhat ellopott nukleáris fegyverek alkalmazása, valamint katonai vagy polgári forrásból megszerzett hasadóanyagok – például magas dúsítású urán (HEU) vagy plutónium – felhasználása egy improvizált nukleáris robbanószerkezet (Improvised Nuclear Device, IND) előállítására. A nukleáris terrorizmus körébe sorolható továbbá az egészségügyi, ipari vagy kutatási célokra alkalmazott radioaktív anyagok, illetve a nukleáris hulladék radiológiai diszperziós eszközzel történő szándékos szétszórása, radioaktív szennyezés előidézése céljából. A nukleáris terrorizmus további megjelenési formája lehet egy atomreaktor vagy más nukleáris létesítmény szabotázsa. [13]

A radiológiai diszperziós eszköz

Radioaktív anyagok a nukleáris anyagok, valamint egyéb radioaktív anyagok, amelyek olyan radionuklidokat tartalmaznak, amelyek spontán bomláson mennek keresztül (amely folyamat egy vagy többféle ionizáló sugárzás – például alfa-, béta-, neutronrészcskék vagy gamma-sugárzás – kibocsátásával jár), és amelyek radiológiai vagy hasadóanyag-tulajdonságaik miatt halált, súlyos testi sérülést, illetve jelentős vagyoni vagy környezeti kárt okozhatnak. [14]

A radioaktív anyagok – a nukleáris robbanás előidézésére képes hasadó nukleáris anyagok² kivételével – nem alkalmasak nukleáris fegyverként történő alkalmazásra, ugyanakkor terrorcselekmény elkövetésére felhasználhatók. Ennek egyik lehetséges formája a radiológiai diszperziós eszközzel végrehajtott támadás. [13] Az RDD olyan eszköz, amely radioaktív anyag hagyományos robbanóanyaggal vagy más módszerrel történő szétszórására szolgál. [10] Működési elve nem nukleáris láncreakción, hanem radioaktív anyag környezetbe történő diszperzióján alapul. [15]

A szakirodalom az RDD alkalmazását a nukleáris terrorizmus egyik legrealisabb forgatókönyvéként értékeli, mivel viszonylag korlátozott technikai képességekkel is megvalósítható, miközben jelentős károkozási potenciállal rendelkezik. [13] Ennek egyik oka, hogy egy IND előállításához nukleáris szakismeretekre, megfelelő műszaki infrastruktúrára, valamint olyan, nukleáris robbanás előidézésére alkalmas hasadóanyag megszerzésére van szükség, amely szigorú nukleáris biztonsági és nyilvántartási rendszer hatálya alá tartozik. Ezzel szemben az RDD előállítása lényegesen alacsonyabb technikai és erőforrásigényű, ezért a terroristaszervezetek számára realisabb alternatívát jelenthet, mint egy IND alkalmazása. [16] A fenyegetést tovább növeli, hogy a polgári felhasználásban – különösen az ipar, az egészségügy és a kutatás területén – alkalmazott egyes radioaktív anyagok könnyebben hozzáférhetők, mint a nukleáris robbanószerkezet előállításához szükséges hasadóanyagok. [1]

² Megfelelő mennyiség, tisztaság és geometria mellett nukleáris robbanószerkezet készítésére felhasználható anyagok: U-235, U-233, Pu-239, Pu-241.

A radiológiai diszperziós eszközzel elkövetett terrorcselekmény hatásai

Egy tipikus radiológiai fegyver radioaktív anyagot szór szét abból a célból, hogy radiológiai szennyezést idézzon elő, amely a sugárterhelésből eredő egészségügyi következmények mellett jelentős pszichológiai, társadalmi, gazdasági és környezeti hatásokkal is járhat, így potenciálisan a biztonság szinte valamennyi dimenzióját érintheti.

Általánosan elfogadott álláspont, hogy egy radiológiai támadás valószínűleg nem okozna tömeges emberáldozatot; a közvetlen halálesetek száma egy IND alkalmazásához képest várhatóan csekély lenne. [16] A radiológiai támadások egészségügyi következményei alapvetően a radioaktív anyagnak kitettség mértékétől, a sugárdózistól, az expozíció időtartamától és a radionuklid tulajdonságaitól függenek. A közvetlen sugárterhelés a dózistól függően nem halálos vagy halálos egészségkárosodást egyaránt okozhat. [16] Magas sugárdózis esetén akut sugárbetegség alakulhat ki, amelynek jellemző tünetei a hányinger, a hányás, a hajhullás és a szervek működésének károsodása. A hosszú távú egészségügyi következmények közé tartozik a daganatos megbetegedések – különösen a leukémia és a pajzsmirigyrák – kialakulásának fokozott kockázata, valamint genetikai károsodások kialakulásának lehetősége. [1]

A radiológiai terrorcselekmény egyik legjelentősebb következménye a pszichológiai hatás. Az RDD alkalmazásával elkövetett támadás különösen alkalmas arra, hogy a közvetlen áldozatok körén túlterjedő lélektani hatást gyakoroljon a polgári lakosságra [17]. Az ilyen cselekmények viszonylag csekély számú közvetlen áldozathoz képest aránytalan mértékű félelmet, szorongást, stresszt és pánikot válthatnak ki, amelyek az érintett népesség körében hosszú távon is fennmaradhatnak. [1] A támadás elsődleges célja ezért nem feltétlenül a közvetlen emberáldozatok számának maximalizálása, hanem a széles körű félelemkeltés, a káosz előidézése, valamint a kormány állampolgárok védelmére való képességébe vetett közbizalom megingatása. [16]

A radiológiai támadások következményei a társadalmi viszonyokat, valamint a gazdaságot és a környezetet egyaránt érinthetik. A radioaktív szennyezés a talajt, a felszíni és felszín alatti vizeket, valamint a levegőt egyaránt érintheti, ami kedvezőtlen hatást gyakorolhat az ökoszisztémákra és a mezőgazdasági termelésre. [1] A szennyezett területek ideiglenesen vagy akár hosszabb időre lakhatatlanná válhatnak, ezek helyreállítása jelentős erőforrásokat igénylő és költséges mentesítési munkálatokat tehet szükségessé. [18] A támadás következtében szükségessé váló kitelepítések, területlezáráások, valamint a közintézmények és a kritikus infrastruktúra működésének korlátozása jelentős társadalmi zavarokat idézhet elő, miközben az egészségügyi ellátás költségei és a kieső gazdasági tevékenységből eredő veszteségek rendkívül magasak lehetnek. [1]

A radiológiai terrorista támadások elsődleges célja feltehetően nem a tömeges emberáldozatok okozása, hanem a társadalmi élet normális működésének megbénítása, amelyet a radiológiai fegyver alkalmazását követő várható nagyszabású válaszingedmények tovább fokozhatnak. Ezért az RDD-vel végrehajtott támadást a szakirodalom inkább a „tömeges zavarok előidézésére alkalmas eszköznek” (*weapon of mass disruption, WMDi*), mint tömegpusztító fegyvernek (*weapon of mass destruction, WMD*) tekinti. [16] Ugyanakkor a szakirodalom arra is felhívja a figyelmet, hogy a nukleáris terrorcselekmények lehetséges pszichológiai, társadalmi, politikai és gazdasági hatásait gyakran túlbecsülik. [13]

Egy robbantással működő RDD alkalmazása esetén a robbanás helyszínén várható dózisteljesítményt elsősorban a radioaktív anyag aktivitása, a meteorológiai viszonyok és

a felhasznált robbanóanyag mennyisége határozzák meg. A helyszínen tartózkodó lakosság, a beavatkozó állomány vagy a járókelők esetében a gyakorlatban rendkívül valószínűtlen, hogy olyan mértékű sugárterhelés érje őket, amely akut sugárbetegséget vagy halált okozna. [19] A radioaktív aeroszolok belélegzése ugyanakkor belső sugárterhelést eredményezhet, [19] amelynek mértékét elsősorban a felhasznált radionuklid fizikai és kémiai tulajdonságai, valamint a belélegzett részecskék mérete határozza meg. Az így kialakuló belső sugárterhelés jelentős hosszú távú egészségügyi kockázatot jelenthet.

Az RDD fő típusai

A radiológiai diszperziós eszközök változatos formában és méretben jelenhetnek meg, [17] csoportosításuk alapvetően a radioaktív anyag diszperziójának módja alapján történik. Az alkalmazott diszperziós módszer megválasztását a terrorista szervezet pénzügyi, személyi és technikai erőforrásai befolyásolják. [16]

A radiológiai diszperziós eszköz fő típusai:

1. Robbantással működő (*explosive*) RDD (eRDD)
 - A radioaktív anyag diszperzióját hagyományos robbanóanyag biztosítja („dirty bomb”).
2. Légköri (*atmospheric*) RDD (aRDD)
 - A radioaktív anyagot olyan fizikai formává alakítják, amelyet a légáramlatok könnyen elszállíthatnak. [11] A gyakorlatban ez aeroszol, folyadék vagy gáznemű közeg alkalmazásával is történhet. [5]
 - Lehetséges megvalósítási módjai:
 - épület fűtési, szellőztetési és légkondicionáló (Heating, Ventilation and Air Conditioning, HVAC) rendszerén keresztüli terjesztés; [5]
 - épület tetején vagy más magas ponton elhelyezett aeroszolgenerátorral, vagy porlasztóberendezéssel történő kibocsátás; [21]
 - légi platformról (repülőgépről vagy drónról) végzett aeroszolos kijuttatás; [17]
 - füstképző (*smoky*) RDD (sRDD), amelynél a radioaktív anyag diszperzióját tűz segítségével valósítják meg. [11]

A robbantással működő radiológiai diszperziós eszköz

A robbantással működő radiológiai diszperziós eszköz olyan fegyvertípus, amely a radioaktív anyagot kombinál hagyományos robbanóanyaggal. A robbanóanyag elsődleges célja a radioaktív szennyeződés nagy területre történő szétszórása, nem a fizikai rombolás. Ennek megfelelően a töltet robbanási hatását alapvetően a felhasznált hagyományos robbanóanyag típusa és mennyisége határozza meg, ezért az – hasonló felépítésű robbanóeszköz esetén – megközelítőleg megegyezik az azonos mennyiségű robbanóanyagot tartalmazó hagyományos robbanószerkezetével. [19] A nukleáris bombával ellentétben működése nem nukleáris láncreakción, hanem hagyományos robbanóanyag detonációján alapul,

ezért nem idéz elő nukleáris robbanást vagy nukleáris energiakibocsátást; hatását a radioaktív részecskék szétszórásával fejt ki. [1]

Az eRDD szerkezeti felépítését tekintve egy radioaktív komponenssel kiegészített rögtönzött robbanószervezetnek (Improvised Explosive Device, IED) tekinthető. A North Atlantic Treaty Organization (NATO) meghatározása szerint az IED olyan, rögtönzött módon elhelyezett vagy összeállított eszköz, amely romboló, halálos, káros vagy mérgező, pirotechnikai vagy gyújtó hatású anyagokat tartalmaz, és célja a megsemmisítés, harcképtelenné tétel, zaklatás vagy figyelemelterelés. Tartalmazhat katonai eredetű robbanóanyagokat vagy egyéb hadianyagokat, azonban rendszerint nem katonai eredetű alkotóelemekből állítják össze.³ [21]

A meghatározás alapján az IED fogalma nem kizárólag a fizikai rombolásra szolgáló eszközöket foglalja magában, hanem olyan változatokat is, amelyek káros vagy mérgező hatású anyag alkalmazásával fejtik ki hatásukat, illetve céljuk a zaklatás vagy a figyelemelterelés. Ezek a sajátosságok az eRDD alkalmazásának is megfeleltethetők, mivel annak hatása nem kizárólag a robbanás következményeiben, hanem a radioaktív szennyezésből eredő egészségügyi és társadalmi hatásokban is megnyilvánul.

Egy egyszerű eRDD akár egy ólomárnyékolású sugárforrástartóból (pig) és az ahhoz rögzített, hozzávetőleg egy kilogramm robbanótöltetből is állhat, amely méretéből adódóan könnyen elhelyezhető egy hátizsákban. A radioaktív anyag elhelyezésére legnagyobb valószínűséggel az eredeti sugárforráshoz tartozó sugárforrástartó vagy szállítótartály szolgálhat. [11]

A helyi szennyeződést a robbanás során kirepülő radioaktív anyag okozza, míg a nagy területre kiterjedő szennyezés a robbanás következtében képződő radioaktív aeroszolok terjedéséből és kiüledéséből származik. [19] Amennyiben a robbanás során nem következik be a radioaktív anyag elpárolgása és kondenzációs aeroszolrészecskék képződése, a keletkező radioaktív részecskék többsége viszonylag nagy szemcseméretű marad. A radioaktív anyag egy része ballisztikus pályán szóródik szét, ezért a szennyeződés a robbanás környezetében kisebb kiterjedésű területen, ugyanakkor nagyobb koncentrációban rakódik le. A robbanás során néhány mikrométer átmérőjű radioaktív részecskék is képződhetnek, amelyeket a szél jelentős távolságra elszállíthat. A kondenzációval képződő aeroszolrészecskék alacsony lerakódási sebességük miatt nagy távolságokra is elsodródhatnak. [20]

Az eRDD előállítására gyakorlatilag bármilyen radioaktív anyag felhasználható, beleértve a hasadási termékeket, a nukleáris reaktorok kiégett fűtőelemeit, az ipari, orvosi és kutatási célú radioaktív sugárforrásokat, valamint a viszonylag kis aktivitású radioaktív hulladékokat is. Fegyverminőségű nukleáris anyagok – például plutónium vagy magasan dúsított urán – alkalmazása nem szükséges, ugyanakkor ezek felhasználása sem zárható ki. [17] A radioaktív anyagok RDD-ben történő alkalmazhatóságát azonban számos tényező

³ Az IED fogalmát 2013-ban hazánkban Daruka Norbert PhD-értekezésében fogadták el új tudományos eredményképpen. Azóta Magyarországon illik ezt a terminológiát használni: „Az improvizált robbanóeszközök olyan, katonai robbanótestekből, katonai vagy ipari robbanóanyagokból, vagy detonáció kiváltására alkalmas házi készítésű anyagokból, illetve ezek közös alkalmazásával rögtönzött módon összeállított és/vagy elhelyezett, rombolásra, mozgásképtelenné tételre vagy zavarkeltésre szánt szerkezet, amely halálos, egészségre ártalmas pirotechnikai vagy gyúlékony vegyi anyagokat és CBRN-alkotóelemeket is tartalmazhat.” [22]

befolyásolja, így különösen a megfelelő aktivitású sugárforrások hozzáférhetősége és kezelése nehézségei, fizikai-kémiai tulajdonságaik, felezési idejük, illetve a kibocsátott sugárzás típusa és energiája. [20] A radioaktív anyag finom szemcseméretű, könnyen diszpergálható formává történő átalakítása további technikai nehézségeket jelent. [17]

A szakirodalomban az RDD céljára potenciálisan felhasználható radioaktív anyagok közül leggyakrabban a cézium-137 (Cs-137), [1][15][18][20][23] a kobalt-60 (Co-60), [1][15][18][20][23] a stroncium-90 (Sr-90), [1][15][20][23] az irídium-192 (Ir-192) [1][18][20] és az amerícium-241 (Am-241) [1][20] szerepel. A felkészülés során ezek mellett más radioaktív anyagok alkalmazásának lehetőségével is számolni kell, mivel az elkövetők várhatóan azt a radioaktív anyagot használják fel, amelyhez hozzá tudnak jutni.

A ROBBANTÁSSAL MŰKÖDŐ RADIOLÓGIAI DISZPERZIÓS ESZKÖZZEL ELKÖVETETT TERRORCSELEKMÉNY HELYSZÍNI SZEMLÉJÉNEK KRIMINALISZTIKAI SAJÁTOSSÁGAI

Az elsődleges reagálók feladatai és a helyszín kezdeti kezelése

A robbantással elkövetett terrorcselekmények helyszínei rendszerint nagy forgalmú nyilvános helyek, illetve kormányzati, rendvédelmi, katonai vagy egyéb kiemelt jelentőségű objektumok. A támadás több, összehangolt cselekményből is állhat, amelyek során az elkövetők különböző elkövetési módszereket alkalmazhatnak. Az ilyen típusú terrorcselekményeket követően kialakuló helyzet kezelése a helyszínre elsőként kiérkező, az élet- és vagyonmentést, valamint az egyéb halaszthatatlan intézkedéseket végrehajtó szervezeti egységek – hazánkban elsősorban a BM Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság, a Rendőrség és az Országos Mentőszolgálat – összehangolt tevékenységét igényli. Feladataik közé tartozik a sérültek felkutatása, ellátása és evakuálása, a helyszínen tartózkodó fegyveres elkövetők semlegesítése, a keletkezett tüzek eloltása, a másodlagos robbanóeszközök felkutatására irányuló helyszínatvizsgálás, valamint a robbanás következtében kialakult veszélyhelyzetek – például a sérült épületszerkezetek és közművek által okozott kockázatok – kezelése. A beavatkozások következtében a helyszín eredeti állapota megváltozik, ami a helyszíni szemle eredményességét kedvezőtlenül befolyásolhatja. Ezért kiemelt jelentősége van az elsődleges reagálók által viselt testkamerák, [24] illetve az esetlegesen alkalmazott drónok felvételeinek. A felvételek a helyszíni szemle megkezdése előtti állapotok és folyamatok vonatkozásában pótolhatatlan, releváns információforrást jelenthetnek.

Az eRDD esetében a robbanóanyag elsődleges feladata a radioaktív anyag szétszórása, ezért feltételezhető, hogy a robbanás fizikai romboló hatása kisebb, mint a hagyományos IED-ek esetében. Az esetlegesen kisebb mértékű pusztítást leszámítva az összkép nem különbözik egy hagyományos IED alkalmazásával elkövetett terrorcselekmény helyszínétől, ezért első megítélésre nem észlelhető a radioaktív anyag jelenléte. A radiológiai veszély felismerése a helyszín kezelésében fordulópontot jelent, mivel a további intézkedések már a sugárvédelmi követelmények figyelembevételével történnek. Ennek hiányában a cselekménnyel érintettek és a beavatkozók radioaktív anyaggal szennyeződhetnek.

A kontaminált sérültek kórházba szállítása az egészségügyi ellátórendszer elemeinek másodlagos radioaktív szennyeződését eredményezheti, amelynek kezelése jelentős dekontaminálási feladatokat von maga után. [19]

A helyszín biztosítása

A helyszíni szemlét időben megelőzi a helyszínbiztosítás, amely az elsődleges intézkedések részeként megteremti a szemle biztonságos végrehajtásához szükséges alapfeltételeket. A kiérkezést követően az elsődleges reagálók feladata a helyszín kezdeti műveleti felmérése, amelynek célja a helyzet értékelése és a szükséges intézkedések meghatározása. [25] A felmérés eredményei alapján kezdik meg a helyszín biztosítását, amely kiterjed a teljes műveleti területre, beleértve a kriminalisztikai értelemben vett bűncselekményi helyszínt, a veszélyforrások által érintett és a beavatkozást támogató területeket is.

A helyszín biztosításának célja a beavatkozóállomány és az állampolgárok védelme a helyszínen található veszélyforrásoktól, [26][27] valamint a helyszín integritásának megőrzése. [25] Ennek érdekében biztosítani kell a műveleti terület lezárását, [26][27] az illetéktelen személyek távoltartását, [27] a helyszín eredeti állapotának megőrzését, [27] a bizonyítékok megóvását, [6] valamint a helyszínen végzett valamennyi szükséges beavatkozás dokumentálását. [27] A műveleti területen csak a feladatvégrehajtáshoz szükséges létszámú beavatkozóállomány tartózkodhat, [6] a be- és kilépéseket pedig a helyszín biztosításának megkezdésétől dokumentálni kell.⁴

A helyszín biztosításának alapvető eleme a műveleti területet lehatároló periméter kialakítása, amelynek kiterjedését rendszerint a műveleti felmérés eredményei alapján jelölik ki, azonban az egyes eseménytípusokra vonatkozó műveleti tervek ajánlásként előzetesen is meghatározhatják. Az ajánlott távolság a helyszín sajátosságainak és az incidens körülményeinek megfelelően módosítható. [28] Az adott esemény jellegétől függően az elsődleges reagálás során kialakíthatnak belső perimétert is. Hazánkban a rendőrség kiemelt bűncselekmények esetén alkalmaz kettős kordont a helyszín integritásának megőrzése érdekében. Külföldi példaként az Egyesült Királyság gyakorlata említhető, ahol a mentési szakaszban a tűzoltóság a belső kordonon belüli területért felel, míg a rendőrség a külső kordon fenntartásával biztosítja a beavatkozó szervezetek számára a biztonságos munkaterületet, valamint az ellenőrzött be- és kiléptetést. [28]

Az elsődleges reagálók tevékenysége szükségszerűen megváltoztatja a helyszínt, ezzel befolyásolhatja a későbbi helyszíni szemle eredményességét. Ezért kerülniük kell a mentési tevékenységgel közvetlenül nem érintett területek megváltoztatását, [6] valamint törekedniük kell a bizonyítékok védelmére. [25] Az elsődleges reagálók feladatai magukban foglalják a lehetséges bizonyítékok felismerését, megjelölését, valamint megóvását. [11] A bizonyítékok biztosítása történhet a helyszínen tartózkodók figyelmének felhívásával,

⁴ A fenti követelményekkel összhangban az MSZ EN ISO 21043-2 szabvány az elsődlegesen reagáló szerv műveletei között előírja többek között az egészségi és biztonsági kockázatok felmérését, a helyszín megóvását (a helyszín biztosításával, az illetéktelen személyek eltávolításával és a potenciális krimináltechnikai értékkel bíró bűnjelekkel való érintkezés minimalizálásával), a személyek be- és kilépésének dokumentálását, az elsődleges megfigyelések rögzítését, illetve a bűnjelek biztosítását (MSZ EN ISO 21043-2, C melléklet: Elsődlegesen reagáló szerv műveletei).

valamint a közelükben elhelyezett jelölők alkalmazásával. Kiemelt figyelmet kell fordítani azoknak a bizonyítékoknak a biztosítására, amelyeket a helyszínen fennálló kedvezőtlen körülmények – különösen a szél, a csapadék, valamint a tűz – károsíthatnak vagy megsemmisíthetnek. Ha fennáll a lehetséges bizonyítékok megsemmisülésének vagy helyszínről történő eltűnésének veszélye, azokat összegyűjthetik, illetve biztonságba helyezhetik. Ebben az esetben rögzíteni kell az intézkedés indokát, a tárgyak eredeti helyét és biztosításuk módját. [25]

Az elsődleges reagálók feladata a helyszínen jelen lévő veszélyforrások azonosítása. [6] Az azonosított veszélyforrásokat és veszélyes területeket meg kell jelölni, valamint gondoskodni kell a helyszínre belépők tájékoztatásáról. A veszélyek megszüntetésére vagy a kockázat csökkentésére – amennyiben ez az elsődleges reagálás során rendelkezésére álló erővel és eszközökkel lehetséges – haladéktalanul intézkedni kell. Amennyiben a veszélyes területekre történő belépés nem elengedhetetlen, a kockázat az érintett területek lezárásával és a belépés mellőzésével elkerülhető. Ha a veszélyek elhárítása nem biztosítható, további, megfelelő képességekkel rendelkező reagáló egységek bevonása szükséges. [25]

Robbantásos cselekmények helyszíne

A robbantások helyszínein végrehajtandó elsődleges intézkedések meghatározó eleme a tűzserésszolgálat bevonása. Ha a robbanás feltételezett oka robbanóeszköz, a másodlagos robbanóeszközök felkutatására tűzserésszjárórt kell a helyszínre rendelni. [25] Feltételezett másodlagos robbanóeszköz észlelésekor a területet haladéktalanul ki kell üríteni, és értesíteni kell a tűzserésszolgálatot. [6] A megtalált robbanóeszköz-gyanús tárgyat kizárólag tűzserész kezelheti. [6] A hatályos magyar szabályozás szerint a robbantásos cselekmény helyszínének mentesítése, valamint az ott végrehajtott büntetőeljárási cselekmények és biztonsági intézkedések tűzserészeti biztosítása a rendőrség⁵ tűzserészeti feladatai közé tartozik. [27] Robbanás bekövetkezése esetén a tűzserésszjárór kirendelése akkor kötelező, ha a helyszíni szemle tűzserész szakmai biztosítást vagy szaknácádói közreműködést igényel. [27]

Radioaktív anyaggal érintett bűncselekményi helyszín

Az elsődleges reagálók a helyszínen észlelhető tárgyak és körülmények alapján következtethetnek radioaktív anyag lehetséges jelenlétére (például sugárveszélyre figyelmeztető piktogram vagy radioaktív anyag tárolására szolgáló tok, illetve konténer). [9] A radiológiai veszélyre a hordozható sugárázsmérő műszer riasztása is felhívhatja a figyelmet. [10] A gyanú felmerülését követően az elsődleges reagálóknak jelentést kell tenniük az illetékes hatóság részére. [10] Ezzel párhuzamosan gondoskodni kell a sugárterheléssel, illetve a radioaktív szennyeződéssel kapcsolatos veszélyvédelmi intézkedések bevezetéséről. [5] Hazánkban a radioaktív anyag feltételezett jelenléte esetén a helyszíni sugárvédelmi mérések elvégzésére és a szükséges azonnali lakosságvédelmi intézkedések megtételére a BM OKF területileg illetékes szerve jogosult. [29] A feltételezett sugárforrástól néhány méteres távolságot kell tartani; a tárgyat megérinteni, felvenni vagy kinyitni tilos. Meg kell akadályozni, hogy más személyek a tárgyhoz hoz-

⁵ Készenléti Rendőrség Személy- és Objektumvédelmi Igazgatóság Tűzserész Szolgálat.

záérjenek vagy annak közelében tartózkodjanak. Rosszullét jelentkezése esetén orvosi ellátást kell igénybe venni, és az egészségügyi személyzetet tájékoztatni kell a feltételezett sugárforrás közelében történt tartózkodásról. [30]

A helyszíni veszélyek előzetes azonosítása és kezelése

Előzetes veszélykezelési szaktevékenységek a robbantásos cselekmények helyszínén

A robbantásos cselekmény helyszínén lehetséges veszélyek a következők:

- tűz és tűzveszély;
- holttestekkel, emberi maradványokkal és testnedvekkel összefüggő biológiai veszélyek (például vér útján terjedő kórokozók);
- sérült épületszerkezetek és omlásveszély
- a sérült épületszerkezetekből származó törmelék, fémdarabok és üvegszilánkok;
- megrongálódott közművek okozta veszélyek;
- veszélyes anyagok, valamint belélegezhető por, füst, gázok és gőzök;
- másodlagos robbanóeszközök. [25]

Az azonosított veszélyek jellegétől függően gondoskodni kell a megfelelő szakemberek – különösen tűzoltó, statikus, az érintett közműszolgáltató képviselője, valamint tűzszerész – bevonásáról.

Tűzszerészeti átvizsgálás és mentesítés

Robbantásos cselekmény esetén a helyszíni szemlét meg kell előznie a helyszín tűzszerészeti átvizsgálásának és mentesítésének. A tűzszerészeti átvizsgálás és mentesítés tartalma a katonai terminológiában a tűzszerész-felderítés és a tűzszerészeti területmentesítés fogalmával írható le.

Tűzszerész-felderítés: Olyan felderítőtevékenység, amely a feltételezett fel nem robbant robbanótestek vizsgálatára, felderítésére, helyének meghatározására, megjelölésére, előzetes azonosítására és jelentésére irányul a további intézkedések meghatározása érdekében. [31]

Tűzszerészeti területmentesítés: Szakképzett személyzet által végrehajtott tűzszerészeti eljárások, amelyek célja a robbanótestek által egy meghatározott területen előidézett veszély csökkentése vagy megszüntetése. [31]

A területmentesítés során felderített robbanóeszközök jelentette veszély megszüntetésére irányuló tűzszerészeti művelet a hatástalanítás és az ártalmatlanítás.⁶

Hatástalanítás: Olyan tűzszerészeti eljárás, amelynek során különleges módszerek vagy eszközök alkalmazásával megszakítják a fel nem robbant robbanótest működését, vagy elkülönítik annak lényeges alkotóelemeit annak érdekében, hogy megakadályozzák a detonációt, az égést, mérgező anyag kibocsátását vagy más elfogadhatatlan hatás bekövetkezését. [31]

⁶ Az ártalmatlanítás érthető és szakmai szövegben is előforduló gyűjtőfogalom, de a magyar tűzszerészeti terminológiában nem olyan pontosan rögzített terminus, mint a hatástalanítás, a megsemmisítés vagy a mentesítés.

Ártalmatlanítás: A tűzszerészeti eljárások sorozatának utolsó művelete, amelynek célja a robbanótestek jelentette veszély végleges megszüntetése, többek között a helyszínen végrehajtott robbantásos megsemmisítéssel⁷ vagy elégetéssel, az aktív robbanóanyag-tartalom eltávolításával, illetve más hasonló módszer alkalmazásával. [31]

A fenti fogalommeghatározások alapján a tűzszerészeti átvizsgálás és mentesítés olyan szaktevékenység, amely a meghatározott területen vagy objektumban található robbanóeszközök, robbanóanyagok és robbanóeszköz-gyanús tárgyak felkutatására, helyük meghatározására, előzetes azonosítására, valamint az általuk előidézett veszély hatástalanítással, eltávolítással, megsemmisítéssel, vagy más megfelelő tűzszerészeti eljárással történő csökkentésére vagy megszüntetésére irányul.

Előzetes radiológiai felmérés

A radioaktív anyaggal érintett bűncselekményi helyszíneken a belső, veszélyellenőrzési terület kialakítása előtt ellenőrzött első belépést kell végrehajtani azokra a területekre, ahol nukleáris vagy egyéb radioaktív anyag jelenléte ismert, vagy feltételezhető. [10] Ennek megtervezése során értékelni kell a rendelkezésre álló előzetes információkat. A radiológiai bűncselekményi helyszínen előforduló veszélyek többsége lényegében megegyezik a más bűncselekményi helyszíneken jelen lévő veszélyekkel, ezért az ezek csökkentésére szolgáló eljárások is alapvetően azonosak. [10] Az általános munkavédelmi és biztonsági követelmények érvényesítésében munkavédelmi és biztonsági szakértő, egyéb veszélyes anyagok jelenléte esetén pedig veszélyesanyag-kezelési szakértő működik közre. A radiológiai kockázatok értékelését és a szükséges sugárvédelmi intézkedések meghatározását sugárvédelmi szakértő végzi.

Az első belépést végző személyzetnek a helyszíni veszélyeknek megfelelő egyéni védőeszközöket – védőruházatot és szükség szerint légzésvédő eszközt –, valamint személyi dózismérőt kell viselnie. [10] Ekkor a helyszínen fennálló tényleges sugárzási és egyéb veszélyek még nem ismertek teljeskörűen, ezért a belépést körültekintően kell végrehajtani, a személyzet tevékenységét pedig szorosan figyelemmel kell kísérni.

Az első belépés során megfelelő képesítéssel és felhatalmazással rendelkező személyzet felméri a sugárzási viszonyokat és a radioaktív szennyeződést. [5] Ennek keretében:

- az adott sugárzásfajtának megfelelő szennyezettségmérő műszerrel detektálják a felületi radioaktív szennyeződést;
- szükség szerint levegőmintavevő vagy légszennyezettség-monitor alkalmazásával vizsgálják a levegőben lévő radioaktív szennyeződést;
- hordozható dózisteljesítmény-mérő műszerrel felméri a külső sugárzási viszonyokat és meghatározzák a magas sugárzási szintű területeket; [10]
- kézi izotópazonosító műszerrel előzetesen azonosítják a radioaktív anyagot, és spektrális adatokat gyűjtenek⁸ a jelen lévő radionuklidok meghatározásához. [10]

⁷ A megsemmisítés a robbanótest vagy robbanóeszköz végleges, helyreállíthatatlan működésképtelenné tételére irányuló tűzszerészeti eljárás, amely végrehajtható a feltalálási helyen vagy kijelölt megsemmisítési helyen.

⁸ A spektrális adatgyűjtés során kézi izotópazonosító műszerrel meghatározzák az észlelt sugárzás energiaeloszlását, amelynek jellegzetes energiacsúcsai alapján előzetesen azonosítható a sugárzást kibocsátó radionuklid.

A helyszíni körülményektől függően az egyéb veszélyek értékelése érdekében további műszeres vizsgálatokat is végeznek. Ennek során:

- megméri a levegő oxigén- és szennyezőanyag-koncentrációját annak megállapítására, hogy szükséges-e kiegészítő oxigénellátás vagy légzésvédő eszköz alkalmazása;
- megméri a gázok és gőzök koncentrációját, és a levegőben érvényes robbanási határértékekhez viszonyítva értékeli. [10]

A hazai eljárásban a radiológiai bűncselekményi helyszín szemlét megelőző veszélyfelmérési és veszélykezelési tevékenységek több szerv összehangolt közreműködésével valósulnak meg [9]. A területileg illetékes katasztrófavédelmi szerv helyszíni méréseket végez, szükség szerint megteszi az azonnali lakosságvédelmi intézkedéseket, és zár alá veszi a talált anyagot. [29] Az anyag azonosítása és a hatósági felügyelet alá helyezéséhez szükséges intézkedések meghatározása az országos tisztifőorvos feladata. [29] A sugáregészségügyi feladatokat az Országos Sugáregészségügyi Készenléti Szolgálat (OSKSZ) határozza meg, és irányítja végrehajtásukat. [32] Ha az országos tisztifőorvos vizsgálata valószínűsíti, hogy a zár alá vett anyag nukleáris anyagnak minősül, és ennek helyszíni megerősítése indokolt, az Energiatudományi Kutatóközpont (EK) végzi el a kategorizálást megalapozó helyszíni vizsgálatokat. [29] E tevékenységek a helyszíni szemle biztonsági és szakmai feltételeit teremtik meg, de nem helyettesítik a büntetőeljárás keretében végrehajtott helyszíni szemlét.

Előzetes veszélykezelési szaktevékenységek az eRDD helyszínén

Az eRDD-vel elkövetett cselekmények helyszínén számolni kell fel nem robbant eRDD-k, másodlagos robbanóeszközök és csapdák jelenlétével, [10] továbbá a robbanás során kiszóródott vagy aeroszolizálódott nukleáris, vagy egyéb radioaktív anyag okozta szennyezéssel.

Ebből következően a szemle megkezdését megelőző veszélykezelési szaktevékenységek magukban foglalják a tűzszerészeti átvizsgálást és mentesítést, valamint az előzetes radiológiai felmérést, amelyek eredményes végrehajtása tűzszerész és sugárvédelmi szakemberek egyidejű és összehangolt közreműködését igényli.

A vizsgált hazai szabályozás [27][29][32] ugyanakkor nem határozza meg egyértelműen, hogy a tűzszerészeti átvizsgálás során mely szerv vagy szakember biztosíthatja a sugárvédelmi szakmai közreműködést. Emiatt a tűzszerész és a sugárvédelmi szaktudás egyidejű, összehangolt alkalmazására vonatkozó követelmény gyakorlati teljesítése kérdéseket vet fel.

A helyszín előzetes értékelése

Az előzetes értékelés a szemle biztonságos és tervszerű végrehajtásához szükséges információk megszerzésére, ellenőrzésére és értékelésére irányuló tevékenység. Elsődleges forrásai a helyszínen intézkedő szervezeti egységek vezetőinek és személyi állományának szóbeli beszámolóí és írásbeli jelentései. A beszerzett információknak ki kell terjedniük:

- a cselekmény lefolyásának ismert részleteire és a helyszínen észlelt körülményekre;
- a végrehajtott intézkedésekre és az általuk a helyszínen előidézett változásokra;

- az azonosított veszélyekre és a megszüntetésükre vagy csökkentésükre tett intézkedésekre;
- a bizonyítékok megóvása érdekében végrehajtott tevékenységekre.

További, az értékelés alapját képező források a rendelkezésre álló fénykép- és kamerafelvételek, térképek, alaprajzok, hangfelvételek, műveleti és beavatkozási naplók, valamint más releváns adathordozók.

A beszerzett információk elemzésének és értékelésének eredményei képezik a szemle megtervezésének alapját, és támogatják a következő tervezési döntések meghozatalát:

- a szemlével érintett terület fizikai kiterjedésének meghatározása;
- a végrehajtáshoz szükséges személyi és tárgyi feltételek felmérése;
- a szemle végrehajtási rendjének kialakítása.⁹

A robbantásos cselekmény helyszínének előzetes értékelése

A robbantásos cselekmények helyszínén az előzetes értékeléshez szükséges információforrások köre speciális elemekkel bővül:

- az elsődleges reagálók által a helyszínen esetlegesen készített hőkamerás felvételekkel;
- a tűzszerzési átvizsgálás eredményeivel, valamint az annak során készített fénykép- és kamerafelvételekkel.

Az idézett amerikai módszertani útmutatókban önálló tevékenységként jelenik meg a helyszínbjárás, amely során a helyszín szemrevételezésével szerzik meg az előzetes értékeléshez szükséges információkat. [6][25] A módszer hazai megfelelője az 1945 előtti kriminalisztikai irodalomban ismert általános tájékozódás volt. [33] Ennek létjogosultságát és jelentőségét a jelenkori szakirodalom is hangsúlyozza: „(...) a gyakorlati tapasztalatok alapján indokolt lehet még az összkép rögzítés megkezdése előtt egy áttekintés, aminek során megszerezzük első benyomásainkat, hogy mivel is állunk szemben, és lehetőséget adunk magunknak a szemle megtervezésére.” [34]

A helyszín előzetes bejárásának célja a helyszín általános áttekintése és a részletes helyszíni szemle megtervezéséhez szükséges információk összegyűjtése. A bejárás során a nyomozó különösen az alábbi feladatokat végzi el:

- a helyszín általános állapotának, kiterjedésének és sajátosságainak felmérése; [6]
- a robbanás feltételezett epicentrumának meghatározása, az esetleges robbanási kráter lokalizálása; [25]
- a robbanás jellegének, valamint lehetséges okának előzetes meghatározása; [25]
- a robbanás hatásainak felmérése és a bizonyítékok várható elhelyezkedésére vonatkozó következtetések levonása; [25]
- a robbanószerkezet alkotóelemeinek, a robbanóanyag-maradványoknak, valamint az egyéb releváns tárgy-töredékeknek, nyomoknak és anyagmaradványoknak a lokalizálása és előzetes azonosítása; [25]

⁹ Az MSZ EN ISO 21043-2 szabvány értelmében a helyszín értékelése során figyelembe kell venni a helyszín biztosításának mechanizmusait, a belépési/kilépési útvonalakat, a helyszínen lévő vizsgálandó területeket, környezeti feltételeket, a bizonyos területek vagy bűnjelek feldolgozásának prioritását megkövetelő környezeti feltételeket, a bűnjel kezelése és/vagy elmozdítása előtt elvégzendő vizsgálatokat, a rendkívüli koordináció, szaktanácsadás, illetve felszerelés vagy támogatás szükségességét. (MSZ EN ISO 21043-2, 7.2.)

- a múltékony bizonyítékok¹⁰ felismerése és – szükség esetén – azok haladéktalan biztosítása, megfelelő dokumentálás mellett; [25]
- a biztonságos belépési és közlekedési útvonalak, valamint a helyszíni munkavégzés feltételeinek ellenőrzése. [25]

Az előzetes bejárás a tűzszerész részvételével történik, aki ennek során közreműködik:

- a helyszín biztonságának értékelésében a másodlagos robbanóeszközök, az el nem működött robbanóanyagok és más veszélyes anyagok tekintetében;
- a robbanás epicentrumának meghatározásában;
- a robbanás típusának és lehetséges kiváltó okának meghatározásában, valamint annak megítélésében, hogy a robbanás baleset vagy bűncselekmény eredménye-e;
- a tárgyi bizonyítási eszközök előzetes értékelésében. [25]

A radioaktív anyaggal érintett bűncselekményi helyszín előzetes értékelése

A radiológiai helyszíneken az elsődleges információk kiemelt jelentőségűek. [35] A beavatkozásban részt vevő személyi állomány és a lakosság életének és egészségének védelme elsősorban a bizonyítékok integritásával szemben. [10] Ebből következően az elsődleges értékeléshez felhasznált információk mind a helyszíni szemle, mind a sugárvédelmi intézkedések megtervezését megalapozzák. Az előzetes értékelés információforrásai lehetnek:

- az IAEA szerinti kezdeti értékelés (*initial assessment*) eredményei, amelynek során a műszeres riasztást vagy az információs jelzést elemzik és értékelik annak megállapítása érdekében, hogy történt-e nukleáris védettségi esemény; [10]
- az elsődleges reagálók és a helyszínbiztosítók beszámolóiból, illetve írásos jelentéseiből származó, a helyszínen tapasztalt körülményekre, a végrehajtott intézkedésekre, a helyszínen tartózkodó személyekre, a bekövetkezett változásokra, valamint a radioaktív szennyeződés területi kiterjedésére és lehetséges továbbterjedésére vonatkozó információk; [35]
- az előzetes radiológiai felmérés során végzett műszeres vizsgálatok eredményei, így különösen a felületi és a levegőben lévő radioaktív szennyeződésre, a külső dózisteljesítményre és a magas sugárzási szintű területekre, valamint a radioaktív anyag és a jelen lévő radionuklidok előzetes azonosítására vonatkozó adatok; [101]
- az ellenőrzött helyszínbejárás során szerzett megfigyelések és készített dokumentáció: a helyszín jellegére, méretére és meghatározó tereptárgyaira, a kriminalisztikai szempontból jelentős vagy sérülékeny bizonyítékokra, a sugárzás vagy felületi szennyeződés jelenlétére utaló körülményekre, valamint az esetleges füst- és gázszivárgásra vonatkozó információk, továbbá a helyszínről készült fénykép- és kamerafelvételek. [35]

Az eRDD helyszín előzetes értékelése

Az eRDD alkalmazása során kiszóródott radioaktív anyag okozta szennyeződés, valamint a kontamináció továbbterjedésének veszélye miatt a helyszín előzetes bejárása a veszélyellenőrzési zónák és a dekontamináló létesítmény kialakítása előtt nem

¹⁰ A múltékony bizonyíték (*transient evidence*) idővel vagy a környezeti hatások következtében gyorsan megváltozik, illetve megsemmisülhet. Ilyen lehet például a szag, a hőmérséklet, a gőz vagy a füst.

célszerű. A személyes bejárás részbeni kiváltására a helyszín előzetes értékelése távvezérelt légi és földi eszközökkel is támogatható. E körbe tartoznak a pilóta nélküli légi járművek (Unmanned Aerial Vehicle, UAV), valamint a személyzet nélküli földi járművek (Unmanned Ground Vehicle, UGV), köztük a távirányítású tűzszerészrobotok (Explosive Ordnance Disposal robot, EOD robot).

A távvezérelt eszközökkel végzett helyszínfelmérés lehetővé teszi a helyszín és az ott található tárgyak áttekintését és fényképes dokumentálását, valamint a szemle és a bizonyítékgyűjtés megtervezéséhez szükséges információk megszerzését a személyi állomány közvetlen veszélyeztetése nélkül. A légifelvételek a terület méretarányos térképeikhez illeszthetők, így meghatározható a felvételeken azonosított tárgyak térbeli helyzete. Az alaptérkép a sugárzási viszonyokat vagy a radioaktív szennyeződés kiterjedését ábrázoló tematikus térképrétegekkel is kiegészíthető. Az eseményt követően készített felvételek emellett összehasonlíthatók a területről korábban készült felvételekkel. [11] A felmérés eredményei hozzájárulhatnak a vizsgálati terület, a belépési és közlekedési útvonalak, valamint a további vizsgálatot igénylő területszakaszok és objektumok meghatározásához.

A helyszíni szemle megtervezése

A helyszíni szemle megtervezése az előzetes értékelés eredményei és a meghatározott vizsgálati célok alapján a szemlével érintett terület kiterjedésének, a végrehajtás rendjének, valamint az ahhoz szükséges személyi és tárgyi feltételeknek a meghatározására irányuló tevékenység. A végrehajtási terv a szemle során felmerülő új információk és megállapítások, valamint a helyszíni körülmények változása alapján felülvizsgálható és módosítható.

A vizsgálati célok

Általános kriminalisztikai értelemben a helyszíni szemle célja a következőképpen határozható meg: *„A helyszíni szemle alapvető célja a helyszínen lévő nyomok, elváltozások, bűnjelleg és jelenségek felkutatása, valamint ezek összességének, a helyszín állapotának rögzítése, hogy ezáltal a nyomozás számára adatokat, támpontokat, majd bizonyítékot nyújtson.”* [36]

Vizsgálati célok a robbantással elkövetett cselekmények helyszínén:

„A robbantásos helyszínen végzett kutatás célja annak megállapítása, hogy mi és miként történt, valamint a bizonyítékok összegyűjtése.” [37] A robbantásos helyszín vizsgálatának célja nem korlátozódik az elkövető azonosítását és büntetőjogi felelősségének megállapítását szolgáló bizonyítékok megszerzésére. A katonai C-IED-megközelítéshez (Counter-Improvised Explosive Devices – rögtönzött robbanóeszközök elleni tevékenység) hasonlóan az IED alkotóelemeinek és anyagainak vizsgálata a támadás technikai és taktikai jellemzőinek, az eszköz előállítási módjának és ellátási láncának, valamint az elkövetői hálózat kapcsolatainak feltárását is szolgálja. [11]

A robbanóeszköz felépítésének és működésének rekonstruálása érdekében fel kell kutatni, dokumentálni és biztosítani az eszközhöz, valamint a robbanás hatásaihoz kapcsolódó tárgytöredékeket, anyagmaradványokat, nyomokat és jelenségeket:

- A robbanóeszköz maradványai:
 - a robbanótöltet maradványai: makroszkopikus, szabad szemmel látható robbanóanyag-maradványok, a nyomokban jelen lévő, szilárd felületeken megtapadt mikroszkopikus robbanóanyag-részecskék és a helyszín légterében jelen lévő illékony robbanóanyag-maradványok; [38]
 - a gyújtószerkezet és indítószervezet alkotóelemei és maradványai, ideértve az áramforrásokat, vezetékeket és kapcsolókat; [8]
 - a robbanóeszköz burkolatának maradványai, valamint a hatásfokozó (például repeszképző) és egyéb szerkezeti elemek és maradványaik. [8]
- A robbanóeszköz pusztító hatása: [38]
 - a nyomásváltozás (lökéshullám) okozta pusztítás (zúzóhatás);
 - a keletkezett kráter méretei, fizikai jellemzői;
 - a robbanóeszközből származó elsődleges, illetve a környezeti tárgyakkól származó másodlagos fragmentációs hatás.
- A robbanáshoz kapcsolódó jelenségek:¹¹
 - a helyszínen még fennálló égés, izzás vagy füstképződés;
 - a maradványhő eloszlása és időbeli változása;¹²
 - a helyszínen észlelhető jellegzetes szagok;¹³

Amennyiben a robbantással elkövetett cselekmény halálos áldozatokkal jár, a helyszíni szemle további feladata a holttestek és az emberi maradványok felkutatása, helyzetük dokumentálása és kiemelése, [28] az áldozatok, valamint az esetleges elkövető – például az öngyilkos merénylet – személyazonosításának elősegítése. A holttestek és emberi maradványok helyszíni kezelésének, valamint az áldozatazonosításnak a részletes módszertana azonban önálló szakterületet képez, [39] ezért annak bemutatására a vizsgálat tárgyi és terjedelmi kereteire tekintettel nem kerül sor.

Vizsgálati célok a radioaktív anyaggal érintett bűncselekményi helyszínen:

A radiológiai bűncselekményi helyszín kezelésének célja a biztonságos, védett, eredményes és hatékony munkavégzés biztosítása azon a bűncselekményi helyszínen, ahol nukleáris vagy egyéb radioaktív anyag jelenléte ismert, vagy feltételezhető. Az ilyen helyszínen végzett tevékenység alapvetően megegyezik a hagyományos, vagyis radioaktív anyag jelenlétével nem érintett bűncselekményi helyszínen alkalmazott eljárásokkal. [10] A bizonyítékok összegyűjtése számos közös jellemzőt mutathat a hagyományos bűncselekményi helyszínen végzett bizonyítékgyűjtéssel, így például a bizonyítékok felkutatására és rögzítésére alkalmazott módszerek, valamint a dokumentálás tekintetében. [10]

A reagáló személyi állomány és a lakosság védelme alapvető fontosságú, ezért elsőbbséget élvez a bizonyítékok összegyűjtéséhez és a helyszín dokumentálásához fűződő

¹¹ A kriminalisztikai értelemben vett jelenség olyan, a szemle idején észlelhető, gyakran átmeneti folyamat vagy állapot, amelyet megfigyeléssel és dokumentálással lehet bizonyításra alkalmas adattá tenni.

¹² Hőkamerával rögzíthető. [25]

¹³ Pl. kén-dioxid-szag kéntartalmú pirotechnikai anyagra, például feketelóporra utal. [38]

érdekkel szemben. [10] A radiológiai bűncselekményi helyszínen végzett műveleteket a fennálló veszélyek jellegéhez és szintjéhez kell igazítani. [10] A biztonságos munkavégzés, és a személyi sugárterhelés korlátozása érdekében a tevékenység során az alábbi tényezőket kell figyelembe venni:

- *Idő:* A veszélyellenőrzési területeken, illetve a radioaktív anyagok közelében eltöltött időt a lehető legrövidebbre kell korlátozni, függetlenül az adott személy feladatától. A helyszínen mért dózisteljesítmény meghatározza az ott eltölthető időt, ezért a munkavégzés időbeli korlátozása a kutatás rendjét is módosíthatja.
- *Távolság:* A helyszínen műveleteket végző személyeknek az észszerűen megvalósítható legnagyobb távolságot kell tartaniuk a radionuklidokkal szennyezett tárgyi bizonyítási eszközöktől, illetve a nukleáris vagy egyéb radioaktív anyagtól. A távolság növelését manipulátorok, távtartók, távvezérelt eszközök alkalmazása is elősegítheti.
- *Árnyékolás:* A szemlebizottság tagjait szükség esetén árnyékolással kell védeni az ionizáló sugárzástól. Erre árnyékolófalak, árnyékolóköpenyek vagy más, megfelelő anyagból készült védőelemek alkalmazhatók. Az árnyékolás ugyanakkor akadályozhatja a kutatást, a vizsgálatot és a dokumentálást. Egyes helyszíneken árnyékolást biztosító egyéni védőeszköz – például ólomköpeny – alkalmazása válhat szükségessé, ami korlátozhatja a mozgást, csökkentheti a kézügyességet és akadályozhatja a kommunikációt. [9][10]
- A radioaktív szennyezettség ellenőrzése:
 - a levegőben jelen lévő radionuklidok monitorozása;
 - a belépő és kilépő személyek, valamint a be- és kivitt felszerelések műszeres ellenőrzése és szükség szerinti dekontaminálása;
 - a helyszín monitorozása a sugárveszélyes területek helyzetében vagy kiterjedésében bekövetkező változások felismerése érdekében.
- Az ionizáló sugárzásnak vagy a radioaktív anyagok kémiai toxicitásának kitett személyeket érő kockázatot az észszerűen elérhető legalacsonyabb szintre kell csökkenteni. A fennálló veszélyek speciális egyéni védőeszközök használatát is szükségessé tehetik. Ezek közé tartozhat a csatlakozásoknál légmentesen lezárt, vegyszerálló védőruházat, a kar- és lábvédő, a többretegű védőkesztyű, valamint a légzésvédő eszköz. A személyi sugárterhelés ellenőrzésére elektronikus személyi dózismérőt kell alkalmazni. Az ilyen felszerelések csökkenthetik a komfortérzetet, korlátozhatják a mozgást és a látást, továbbá nehezíthetik a hallást és a kommunikációt. [9]

A helyszínen jelen lévő radioaktív anyagok kettős jelentőséggel bírnak: egyrészt veszélykezelési intézkedéseket igénylő veszélyforrások, másrészt tárgyi bizonyítási eszközök lehetnek. A helyszínen emellett radioaktívan szennyezett, egyéb tárgyi bizonyítási eszközök is előfordulhatnak. Mind a radioaktív anyagok, mind a radioaktívan szennyezett tárgyi bizonyítási eszközök rögzítése, begyűjtése és csomagolása speciális szakértelmet, eszközöket és módszereket igényel. [9]

Vizsgálati célok az eRDD helyszínén:

Az eRDD helyszíni szemléje egyesíti a robbantásos és a radiológiai bűncselekményi helyszín vizsgálati céljait. A szemle kiterjed a robbanóeszköz maradványainak és a radioaktívan szennyezett tárgyi bizonyítási eszközöknek a felkutatására, dokumentálására és biztosítására, továbbá a szétszóródott radioaktív anyag detektálására és

mintavételezésére. További cél a robbanás és a radioaktív anyag szétszóródási körülményeinek rekonstruálása. E célokat a reagáló személyi állomány és a lakosság védelmének elsőbbsége, valamint a személyi sugárterhelés és a radioaktív szennyeződés továbbterjedésének korlátozása mellett kell megvalósítani.

A szemle személyi feltételei

Hazánkban a helyszín feldolgozását a szemlebizottság végzi, amely a bizottságvezetőből és legalább egy bűnügyi technikusból áll, amely szükséges esetben szaktanácsadókkal, szakértőkkel és kutyavezetővel egészülhet ki. A bizottságvezető készíti el a szemle írásbeli dokumentációját, míg a bűnügyi technikus feladata a tárgyi bizonyítási eszközök felkutatása, dokumentálása, biztosítása, csomagolása és hitelesítése, valamint a fénykép- és rajzmelléklet összeállítása. Nagyobb kiterjedésű helyszíneken a szemlebizottság külön jegyzőkönyvvezetővel és további bűnügyi technikusokkal egészülhet ki; utóbbiak egymás között megosztva végzik a technikai feladatokat. [34]

A robbantással elkövetett cselekmény szemléjének személyi feltételei:

Az Egyesült Államokban a feladatköröket az ellátandó részfeladatok alapján különítik el. Ennek megfelelően a helyszín feldolgozásáért felelős csoport tagjai: [25]

- csoportvezető;
- fotós;
- helyszínrajz-készítő;
- bűnjelkezelő (a felügyeleti lánc integritásáért felelős személy);
- a bizonyítékok felkutatását és biztosítását végző állomány;
- tűzszerész.

Javasolt vegyész szakértő jelenléte, aki elvégezheti a robbanóanyagok és robbanóanyag-maradványok előzetes helyszíni vizsgálatát. [25]

A hazai szabályozás a tűzszerész helyszíni feladatainak kereteit a helyszíni szemle tűzszerész szakmai biztosításában, illetve a szaktanácsadói közreműködésben határozza meg. [27] Ennek megfelelően a tűzszerész a szemle során nemcsak a robbanásveszély felmérésében és kezelésében, hanem szaktanácsadóként a bizonyítási eszközök felderítésében, felkutatásában, megszerzésében, összegyűjtésében és rögzítésében is közreműködik. [40] A robbantásos helyszínen indokolt továbbá vegyész szakértő vagy szaktanácsadó bevonása a robbanóanyag-maradványokból történő, a későbbi analitikai vizsgálatot megalapozó szakszerű mintavételhez. [38]

A szektorokra bontott, nagy kiterjedésű helyszíneken az egyes szektorok teljes körű feldolgozását különálló, de összehangoltan működő szemlebizottságok végezhetik, ami megnöveli a szükséges személyi állomány létszámát.

A radioaktív anyaggal érintett szemle személyi feltételei:

A radiológiai bűncselekményi helyszínen működő szemlebizottság klasszikus kriminalisztikai feladatokat ellátó tagjainak köre megegyezik a robbantásos helyszínen alkalmazott szemlebizottságéval:

- szemlebizottság vezetője;
- fotós;

- helyszínrajz-készítő;
- nyomrögzítő (bizonyítási eszközök begyűjtése);
- bűnjelező (csomagolás, hitelesítés).

A biztonságos és szakszerű munkavégzés érdekében a szemlebizottság három radiológiai szakértővel¹⁴ egészül ki:

- a műszeres sugárfelderítésért, az RN-anyagok és az azokkal szennyezett hagyományos tárgyi bizonyítási eszközök felkutatásáért és előzetes azonosításáért, valamint begyűjtésükért felelős radiológiai szakértő; [9]
- a sugárvédelmi szakértő, aki ellenőrzi a helyszínről kivitt tárgyi bizonyítási eszközök és felszerelések, valamint a kilépő személyek radioaktív szennyezettségét, biztosítja a tiszta eszközöket, továbbá közreműködik a kesztyűcserében és az egyéni védőeszközök biztonságos levételében; [8]
- a gamma-spektrometriai szakértő, aki a felkutatott RN-anyagok helyszíni (*in situ*) gamma-spektrometriás vizsgálatát és kategorizálását végzi. [9]

Az e RDD helyszín szemléjének személyi feltételei:

A robbantással működő radiológiai diszperziós eszközzel (eRDD) elkövetett cselekmény helyszíni szemléjének lefolytatásához a robbantással elkövetett cselekmények és a radioaktív anyaggal érintett helyszínek feldolgozásához szükséges személyi feltételek biztosítása együttesen szükséges:

- szemlebizottság-vezető;
- fotós;
- helyszínrajz-készítő;
- nyomrögzítő;
- bűnjelező;
- tűzszerész szaktanácsadó;
- vegyész szakértő;
- a műszeres sugárfelderítést végző radiológiai szakértő;
- sugárvédelmi szakértő;
- gamma-spektrometriai szakértő.

Az eRDD helyszínen a bizonyítási eszközök egy része egyszerre hordozhat robbantástechnikai, kémiai, radiológiai és hagyományos kriminalisztikai információt. Felkutatásukat, dokumentálásukat, mintavételezésüket, begyűjtésüket és csomagolásukat ebből fakadóan az érintett szakterületek képviselőinek összehangolt közreműködésével szükséges végrehajtani. A vegyész szakértő és a radiológiai szakértők együttműködése különösen azoknak a maradványoknak az esetében szükséges, amelyek radioaktív anyaggal szennyeződhetnek. A munkamegosztás során egyértelműen meg kell határozni, hogy az egyes tárgyakat ki vizsgálhatja, mozgathatja, gyűjtheti be és csomagolhatja, valamint ki felel a sugárvédelmi ellenőrzésükért.

¹⁴ Olyan nukleáris fizikus vagy radiokémikus, aki képes a sugárzó anyagokat felismerni, műszeresen detektálni, szakszerűen összegyűjteni és kezelni. [9]

A helyszíni zónarendszer kialakítása

A zónarendszer a végrehajtási rend területi és szervezési kerete. Meghatározza, hogy az egyes helyszíni tevékenységek hol végezhetők, kik és milyen feltételekkel léphetnek be, milyen veszélykezelési szabályok érvényesülnek, valamint hogyan történik a személyek, eszközök és tárgyi bizonyítási eszközök mozgatása.

A zónarendszer tehát:

- helyszínbiztosítási;
- hozzáférés-szabályozási;
- veszélykezelési;
- kontaminációkontroll-funkciót tölt be.

A robbantással elkövetett cselekmény helyszínének zónarendszere

A robbantással elkövetett cselekmények helyszínének feldolgozása során alkalmazott zónarendszer kijelöli a helyszín határait, a helyszíni szemle végrehajtásának területi kereteit, valamint a hozzáférés rendjét. A zónarendszer elemeit a helyszíni szemle megkezdését megelőzően alakítják ki. [25]

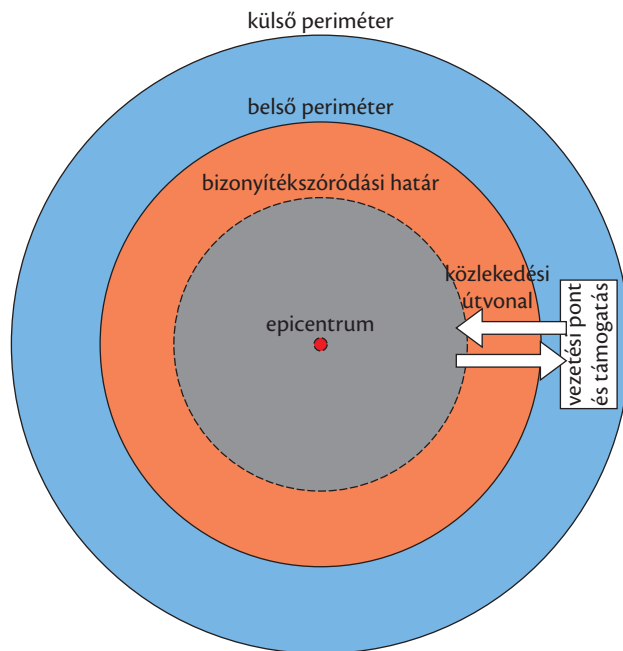
A teljes műveleti területet a külső periméter (*outer perimeter*)¹⁵ határolja, amelyet a helyszín biztosítása érdekében alakítanak ki. [25] A külső perimétert olyan távolságban kell kijelölni, hogy megakadályozza az illetéktelen személyek számára a helyszíni tevékenységek – különösen a bizonyítékok felkutatásának és rögzítésének – megfigyelését, valamint a helyszínen dolgozók közötti kommunikáció kihallgatását. Általános szabályként a külső perimétert célszerű kezdetben az indokoltnál nagyobb kiterjedésben meghatározni, mivel később egyszerűbb annak csökkentése, mint utólagos kiterjesztése. Külső helyszíneken az utak, építmények, kerítések, valamint a természetes és épített környezet egyéb elemei, míg beltéri helyszíneken az épület külső határoló szerkezetei, illetve az ingatlan határai képezhetik a külső perimétert. [25]

A belső periméter (*inner perimeter*) magában foglalja a robbanás tényleges helyszínét, valamint azt a területet, ahol a robbanóeszközből származó bizonyítékok (tárgytöredékek, anyagmaradványok), [25] továbbá veszélyforrások vagy szennyeződések találhatók. [28] Ebből következően a belső kordon a kriminalisztikai helyszínbiztosítás mellett veszélykezelési funkciót is ellát. Kijelölése a robbanás epicentruma és a legtávolabb azonosított bizonyíték közötti távolság másfélszeresénél történik. [25] Beltéri helyszíneken a belső periméter kialakítását az épület határoló szerkezetei is meghatározhatják. [25]

A vezetési pont (*command post*) ellenőrzött belépési és kilépési pontként szolgál, amelyen keresztül valamennyi, a helyszínre belépő személy, bevitt eszköz és felszerelés, valamint a helyszínről elszállított bizonyíték áthalad. A helyszíni tevékenységek nyomon követhetősége¹⁶ érdekében a vezetési pontot a belső periméter határán kell kialakítani. [25]

¹⁵ A magyar tűzserészeti terminológiában ennek megfelelőjeként a peremsáv elnevezés honosodott meg. A két fogalom funkcionálisan azonos szerepet tölt be, bár nyelvi értelemben a *perimeter* jelentése a területet körülhatároló vonal, míg a peremsáv az e határ mentén kialakított biztosítási sáv.

¹⁶ Ez biztosítja a helyszínre történő be- és kilépés ellenőrzését, a személyek, az eszközök és a bizonyítékok mozgásának dokumentált nyomon követhetőségét, továbbá támogatja a bizonyítékok felügyeleti láncának (*chain of custody*) folyamatos fenntartását.



1. ábra. A robbantásos helyszín zónarendszeréről (A szerző szerkesztése [25] alapján)

A be- és kilépési útvonalat (*entry/exit path*) egyértelműen kell meghatározni, és célszerű azt jelzőszalaggal vagy más megfelelő módon megjelölni. A helyszín integritásának megőrzése érdekében egyetlen útvonal kijelölése javasolt, amelynek a vezetési pontnál kell kezdődnie és végződnie, ezáltal biztosítva a helyszínre történő be- és kilépés ellenőrzését. Ideális esetben az útvonal mentes a robbanásból származó tárgy-töredékektől és anyagmaradványoktól, ellenkező esetben a szemlebizottság dönt arról, hogy az ott található lehetséges bizonyítékokat a helyszíni szemlére vonatkozó szabályok betartásával azonnal rögzíti, vagy megjelöli, és azok rögzítésére a helyszíni szemle későbbi szakaszában kerül sor. [25]

A radiológiai anyaggal érintett bűncselekményi helyszín zónarendszere

A radiológiai bűncselekményi helyszínen végzett műveletek számos elemükben meg egyeznek a hagyományos bűncselekményi helyszíneken alkalmazott eljárásokkal, azonban kiegészülnek a sugárvédelmi követelményekkel, ennek értelmében a reagáló állomány és a lakosság védelme elsőbbséget élvez a helyszíni szemle eredményes végrehajtásához fűződő bűnüldözési érdekekkel szemben. [10]

A sugárvédelmi szempontok érvényesítése a robbantások helyszínein alkalmazott-nál összetettebb zónarendszer kialakítását teszi szükségessé. A radiológiai bűncselekményi helyszín kezelése során alkalmazott zónarendszer – a robbantások helyszínén követett gyakorlathoz hasonlóan – kijelöli a helyszín határait, meghatározza a helyszíni szemle végrehajtásának területi kereteit és a hozzáférés rendjét. Ezzel egyidejűleg biztosítja a helyszínen fennálló radiológiai veszélyek ellenőrzését, a reagáló állomány sugárterhelésének minimalizálását, valamint a bizonyítékok biztonságos felkutatásának és rögzítésének feltételeit.

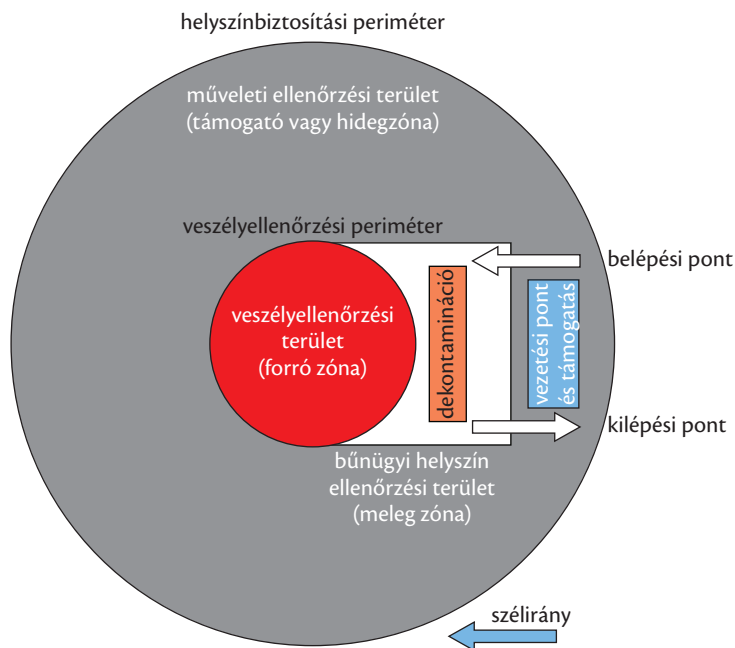
A radiológiai helyszínelzési (Radiological Crime Scene Management, RCSM) terminológiában a zónarendszer elemeit a zónák, valamint azok határvonalainak (perimétereinek) elnevezései alapján különböztetik meg.

Helyszínbiztosítási (*Security*)¹⁷ periméter: [10] külső, a teljes műveleti ellenőrzési területet magában foglaló zónahatár, amely a hozzáférés ellenőrzését, a bizonyítékok védelmét szolgálja.

Veszélyellenőrzési (*Safety*)¹⁸ periméter: [10] belső, a veszélyellenőrzési területet kijelölő zónahatár, amely a helyszínen jelen lévő veszélyforrások (robbanásveszély, ionizáló sugárzás, mérgező anyag stb.) elleni védelmet biztosítja.

Műveleti ellenőrzési terület (*Operational Control Area*): a radiológiai bűnügyi helyszín kezelésének támogatásához szükséges teljes területet magába foglaló földrajzi egység, amelyre a belépés, illetve amelyről a kilépés ellenőrzött. [10] Használatos még a támogató zóna (*Support Zone*) [11] és a hideg zóna (*Cold Zone*) elnevezés is. [11]

Veszélyellenőrzési terület (*Hazard Control Area*): a radiológiai bűnügyi helyszínen fennálló valamennyi veszély maximális kiterjedését lefedő földrajzi terület, ahol a belépés, a területen belüli mozgás és a kilépés egyaránt ellenőrzött. [10] Forró zónának (*Hot Zone*) is nevezik. [11] A veszélyellenőrzési terület kiterjedése és kialakítása a helyszíni körülményektől – különösen a sugárzási szinttől, a csapadéktól, valamint a szél irányától és sebességétől – függ, ezért a helyzet változása esetén módosításra szorulhat [10].



2. ábra. A radiológiai helyszín zónarendszeréről (A szerző szerkesztése [10] alapján)

¹⁷ Szándékos, emberi eredetű fenyegetések elleni védelem (illetéktelen hozzáférés, bűncselekmény, szabotázs, terrorcselekmény stb.).

¹⁸ Nem szándékos veszélyekkel, illetve a veszélyforrások káros hatásaival szembeni védelem (sugárzás, robbanás, mérgező anyagok, tűz stb.).

Bűnügyi helyszín ellenőrzési területe (*Crime Scene Control Area*): a veszélyellenőrzési területre történő belépési és az onnan történő kilépési pontokat magában foglaló terület. Itt helyezkedhet el a dekontamináló állomás, itt történik a bizonyítékok radioaktív szennyezettségének ellenőrzése, valamint azok elsődleges vizsgálata és átmeneti tárolása. Másként meleg zónának (*Warm Zone*) nevezik. [11]

A helyszíni szemle végrehajtási rendje

A helyszíni szemle végrehajtása statikus és dinamikus szakaszra tagolható. A statikus szakasz célja a helyszín eredeti állapotának és összképének változtatás nélküli dokumentálása. Ebben a szakaszban rögzítik a helyszín elhelyezkedését, kiterjedését és általános jellemzőit, a szemle megkezdésének időpontját, a megvilágítási, időjárási és egyéb környezeti körülményeket, továbbá az egyes objektumok, nyomok és elváltozások eredeti helyzetét. Az

2. táblázat. A robbantásos, a radiológiai és a robbantással működő radiológiai diszperziós eszközzel érintett helyszínek zónarendszerének összehasonlítása (A szerző szerkesztése)

Szempont	Robbantásos helyszín (IED)	Radiológiai helyszín	Robbantással működő RDD
Zónák száma	Két zóna, amelyeket ^a külső és ^a belső periméter határol.	Három zóna: műveleti ellenőrzési terület veszélyellenőrzési terület bűnügyi helyszín ellenőrzési terület.	Három zóna: műveleti ellenőrzési terület veszélyellenőrzési terület bűnügyi helyszín ellenőrzési terület.
Külső periméter szerepe	A helyszín biztosítása és ^a helyszíni műveletek támogatása.	A helyszín biztosítása és ^a helyszíni műveletek támogatása.	A helyszín biztosítása és ^a helyszíni műveletek támogatása.
Külső periméter kijelölésének alapja	A cselekmény jellege, ^a helyszín kiterjedése, ^a környezeti adottságok és ^a műveleti területigény.	A cselekmény jellege, ^a helyszín kiterjedése, ^a környezeti adottságok és ^a műveleti területigény.	A cselekmény jellege, ^a helyszín kiterjedése, ^a környezeti adottságok és ^a műveleti területigény.
Belső periméter szerepe	A robbantás helyszínének, valamint ^a feltételezett másodlagos robbanóeszközök és egyéb veszélyforrások által érintett terület lehatárolása.	A radiológiai veszéllyel érintett terület, ^a bűncselekményi helyszín és ^a további veszélyforrások lehatárolása.	A radiológiai veszéllyel érintett terület, ^a robbantás helyszíne és ^a további veszélyforrások (másodlagos robbanóeszközök) lehatárolása.
Belső periméter kijelölésének alapja	A legnagyobb bizonyítékkiszóródási távolság 50%-kal növelt értéke alapján.	A radiológiai felmérés eredményei alapján meghatározott veszélyzóna.	A periméter kijelölése során együttesen kell figyelembe venni ^a bizonyítékok szóródási területét és ^a radiológiai felmérés alapján meghatározott veszélyterületet.
Periméter módosítása	Tűzszerész átvizsgálás, kockázatértékelés alapján.	Radiológiai felmérések eredményei, meteorológiai viszonyok és kockázatértékelés alapján.	Tűzszerész átvizsgálás, radiológiai felmérések eredményei, ^a meteorológiai viszonyok és kockázatértékelés alapján.

^{Me}gjegyzés: A vizsgált nemzetközi szakirodalom nem tartalmaz a robbantással működő radiológiai diszperziós eszközzel elkövetett cselekmények helyszínére kidolgozott önálló kriminalisztikai zónarendszert. A táblázatban bemutatott modell a robbantással elkövetett és a radiológiai bűncselekményi helyszínek zónarendszerének összehasonlító elemzésén alapuló szerzői szintézis.

összkép rögzítése azért szükséges, mert a helyszín egészéből olyan összefüggések tárhatók fel, amelyek az egyes részletek alapján később már nem rekonstruálhatók. [34]

A dinamikus szakaszban kerül sor a helyszín tervszerű és módszeres átvizsgálására, a nyomok és tárgyi bizonyítási eszközök felkutatására, dokumentálása, és begyűjtésére. A helyszín átvizsgálása lehet teljes vagy a rendelkezésre álló információkra és gondolati rekonstrukcióra épülő, meghatározott területekre és elváltozásokra összpontosító kutatás. [34]

A helyszín szektorokra osztása a helyszínfeldolgozás területi megszervezésének mód-szere, amely során a helyszínt elkülönített vizsgálati egységekre bontják, és az egyes szektorok feldolgozásához meghatározott személyi állományt, feladatokat és felelősségi köröket rendelnek. Nagy kiterjedésű vagy tagolt helyszíneken ez lehetővé teszi a feldolgozás párhuzamos, ugyanakkor összehangolt végrehajtását. A szektorok feldolgozását és a bennük felkutatott tárgyi bizonyítási eszközöket egységes jelölési és dokumentálási rendszerben kell rögzíteni.

A szektorokra osztástól, mint területi szervezési módszertől meg kell különböztetni a kutatás konkrét lefolytatásának módszereit. A helyszín sajátosságaitól és a keresett bizonyítékok jellegétől függően rácsnálós, kívülről befelé vagy belülről kifelé haladó spirális, párhuzamos sávós, illetve szektoros kutatási módszer alkalmazható, amely közvetlenül a nyom- és bűnjelkutatás lefolytatását szolgálja.

A robbantással elkövetett cselekmények helyszíni szemléjének végrehajtási rendje

A robbantásos helyszínek szemléjének statikus szakaszában a helyszínt eredeti állapotában, annak megváltoztatása nélkül vizsgálják meg. A kezdeti dokumentálás keretében célszerű a belső periméter vonaláról a helyszín eredeti állapotát 360°-os nézetben bemutató fényképsorozatot készíteni, amelyet helyszínvázlat, videófelvétel és lehetőség szerint légifelvétel egészíthet ki. Dokumentálják a robbanást követően fennmaradt állapotot, az egyes elváltozások jellegét, térbeli eloszlását, méret- és alakbeli sajátosságait. Amennyiben lehetséges, meghatározzák a robbanás epicentrumát, továbbá részletesen dokumentálják a robbanási krátert, a rongálódásokat, a robbanóeszköz szemmel látható alkotóelemeit. A statikus szakaszban főszabály szerint nem kerül sor a tárgyi bizonyítási eszközök elmozdítására vagy begyűjtésére. Kivételt jelentenek azok a mulékony bizonyítékok, amelyeket az időjárás, a forgalom vagy a helyszínen mozgó személyek rövid időn belül megsemmisíthetnek vagy megváltoztathatnak; ezek haladéktalan begyűjtését és az eltérés okának dokumentálását el kell végezni. A robbanóanyag-maradványok mintavételét ugyancsak a helyszíni szemle kezdeti szakaszában, a tárgyi bizonyítási eszközök általános biztosítása előtt célszerű végrehajtani. [25]

A szemle dinamikus szakaszában kerül sor a helyszín módszeres átvizsgálására, valamint a tárgyi bizonyítási eszközök felkutatására, részletes dokumentálására, mintavételezésére és begyűjtésére. A kutatás rácsnálós, párhuzamos sávós vagy spirális módszerrel végezhető. A felkutatott tárgyi bizonyítási eszközöket eredeti helyzetükben, elmozdításuk előtt kell lefényképezni, [25] és szükség szerint a helyszínrajzon is fel kell tüntetni. Ezt követően kerülhet sor a szükséges mintavételre, a tárgyak kiemelésére, jellegüknek megfelelő csomagolásukra, azonosító adatokkal történő ellátásukra és nyilvántartásba vételükre. A robbanóanyag-maradványok vizsgálatára kerülő tárgyakat olyan csomagolásban kell elhelyezni, amely megőrzi az illékony maradványokat és megakadályozza a kontaminációt.

Szükség esetén összehasonlító mintákat is biztosítani kell annak megállapításához, hogy a felkutatott anyagok a robbanóeszközből származnak-e, vagy már a robbanás előtt is a helyszín részét képezték.

Nagy kiterjedésű helyszíneken célszerű a helyszínt szektorokra osztani, majd az egyes szektorokat a helyszín sajátosságainak megfelelő kutatási módszerrel, rendkívüli alapos-sággal átvizsgálni. Az IED-maradványok felkutatásának további módszere a robbanási tör-melék, illetve a talaj egymást követően alkalmazott, fokozatosan csökkenő lyukméretű szí-tákon történő átszitalása. [25]

A radioaktív anyaggal érintett helyszín szemléjének végrehajtási rendje

A radiológiai helyszíni szemle végrehajtása során az elsődleges radiológiai felmérés fe-leltethető meg a statikus szakasznak, mivel ekkor a helyszínt eredeti állapotában, annak megváltoztatása nélkül vizsgálják meg. Az elsődleges radiológiai felmérés során dózistel-jesítmény- és felületi szennyezettségi méréseket végeznek, lokalizálják és megjelölik a ra-dioaktív forrópontokat, továbbá helyszínrajzon rögzítik azok elhelyezkedését és a hozzá-juk tartozó dózisteljesítmény-értékeket. A helyszín állapotát fénykép- és videófelvevételekkel dokumentálják, és feljegyzik a bűnjelek felkutatása és begyűjtése szempontjából releváns területeket. Ezt követően kézi izotópazonosító műszerrel azonosítják a forrópontokhoz kapcsolódó radioaktív anyagokat, az eredményeket pedig feltüntetik a helyszínrajzon. Ebben a szakaszban a tárgyakat még nem mozdítják el. A felmérés befejezését követően, a forrópontok elhelyezkedésének és a hagyományos bűnjelek szempontjából releváns te-rületeknek az ismeretében tervezik meg a helyszín dinamikus feldolgozását és a radioaktív anyagok begyűjtésének sorrendjét. [9]

A dinamikus szakaszban kerül sor a radioaktív anyagok, a radioaktívan szennyezett IED-maradványok és más tárgyi bizonyítási eszközök részletes dokumentálására, mintavé-telezésére és begyűjtésére. A radioaktív anyagot az elmozdítása előtt eredeti helyzetében dokumentálják, megjelölik, és rögzítik a hozzá kapcsolódó mérési adatokat. A begyűjtés sorrendjét a radiológiai kockázatok és a kriminalisztikai szempontok együttes értékelésé-vel határozzák meg. Az anyag mozgatása csipesszel vagy manipulátorral történhet. A be-gyűjtést két személy hajtja végre: egyikük a tárgyat a csomagolásba helyezi, másikuk a tisz-ta csomagolóeszközt tartja és lezárja. A radioaktív anyagot kettős csomagolással látják el, bűnjelként azonosítják, sugárveszélyre utaló jelöléssel látják el, majd nyilvántartásba ve-szik. [9]

A csomagolás külső felületének szennyezettségét dörzsmintavétellel és műszeres mé-réssel ellenőrzik. [10] Amennyiben a külső csomagolás szennyezett, további tiszta csoma-golást alkalmaznak. A becsomagolt tárgy dózisteljesítményét alacsony háttérsugárzású területen méri meg, az eredményeket pedig feltüntetik a jelölésen és a bűnjelnyilvántar-tásban. [10] Az egyes bűnjelek begyűjtése között a külső kesztyűt cserélik, és rendszere-sen ellenőrzik a személyi védőeszközök, a műszerek és a csomagolások szennyezettségét. A szétszóródott radioaktív anyagból, valamint a szennyezett felületekről szükség szerint mintát vesznek. A mintavétel és a radioaktívan szennyezett hagyományos bűnjelek bizto-sítása során kerülni kell a kriminalisztikai nyomok megsemmisítését és a bűnjelek közötti keresztszennyeződést. [9]

A begyűjtött bűnjeleket a szennyeződés-ellenőrző ponton adják ki a műveleti terü-letről. [10] Itt ellenőrzik a csomagolás tisztaságát és a mérési adatokat, majd a tárgyakat

szükség szerint további csomagolásba vagy árnyékoló konténerbe helyezik. [9] A bűnjelet elszállításukig védett átmeneti tárolóhelyen őrzik, az egyedi azonosíthatóság a felügyeleti lánc folyamatos biztosítása mellett. [10] A csomagolást, tárolást és szállítást a radioaktív anyag jellegének, aktivitásának, dózisteljesítményének és felületi szennyezettségének megfelelően kell végrehajtani, illetve megszervezni.

A radioaktív anyagok eltávolítását utólagos radiológiai felmérés követi. Ennek során ismételten ellenőrzik a korábbi forráspontokat és a teljes helyszínt, hogy felkutassák azokat a radioaktív anyagokat vagy szennyezett felületeket, amelyek sugárzását korábban más források elfedhették. Amennyiben további radioaktív anyag vagy szennyeződés nem mutatható ki, a helyszín átadható a hagyományos helyszíni szemle folytatására; fennmaradó szennyeződés esetén dekontaminálás szükséges. A műveleti terület elhagyásakor valamennyi személyt, eszközt és bűnjelet szennyezettségi ellenőrzésnek vetik alá, szükség esetén dekontaminálnak, a védőruházatot pedig meghatározott sorrendben, műszeres ellenőrzés mellett távolítják el. [9]

Az eRDD helyszíni szemléjének végrehajtási rendje

Az eRDD helyszíni szemléjének végrehajtási rendje a robbantásos és a radiológiai helyszínfeldolgozás követelményeit egyesíti. A statikus szakaszban elvégzik a radiológiai felmérést, lokalizálják és megjelölik a radioaktív forráspontokat, rögzítik a dózisteljesítmény- és szennyezettségi adatokat, ezzel egyidejűleg dokumentálják a robbanás következtében kialakult állapotot, meghatározzák a robbanás epicentrumát és következtetéseket vonnak le a bizonyítékok várható elhelyezkedéséről. A radiológiai kockázatok és a kriminalisztikai prioritások együttes értékelésével meghatározzák a helyszín feldolgozásának, valamint a radioaktív anyagok, az IED-maradványok és az egyéb tárgyi bizonyítási eszközök begyűjtésének sorrendjét.

A dinamikus szakaszban kerül sor a radioaktív anyagok, a radioaktívan szennyezett IED-maradványok és más tárgyi bizonyítási eszközök részletes dokumentálására, mintavételezésére és biztosítására. A begyűjtés és a csomagolás során egyidejűleg kell megőrizni a kriminalisztikai nyomokat és a robbanóanyag-maradványokat, megakadályozni a radioaktív szennyeződés továbbterjedését és a bűnjelek közötti keresztszennyeződést, továbbá biztosítani a sugárvédelmi követelmények érvényesülését és a felügyeleti lánc fenntartását.

ÖSSZEGZÉS

A vizsgálat alapján az eRDD helyszín kezelésének legtöbb eleme kezelhető a robbantásos és a radiológiai bűncselekményi helyszínekre kialakított eljárások összehangolt alkalmazásával. Ebbe a körbe tartozik a helyszínbiztosítás, a veszélyek előzetes azonosítása, a tűzszerészeti átvizsgálás és a radiológiai felmérés, a zónarendszer kialakítása, a vizsgálati célok meghatározása, a szükséges szakemberek bevonása, valamint a helyszín statikus és dinamikus feldolgozása. Az eRDD helyszínének szemléje ezért alapvetően nem igényel teljesen új kriminalisztikai módszertant, hanem a meglévő eljárások integrált alkalmazását követeli meg.

Pusztán a két eljárás egymás mellé helyezésével ugyanakkor nem kezelhető megfelelően a tűzszerészeti és sugárvédelmi tevékenységek összehangolása, a radioaktívan

szennyezett IED-maradványok begyűjtése, valamint a radiológiai kockázatok és a kriminalisztikai érdekek közötti prioritások meghatározása. Kérdéses továbbá, hogy a radioaktív anyaggal szennyezett robbanóanyag-maradványok vegyész szakértői vizsgálata milyen személyi, tárgyi és sugárvédelmi feltételek mellett végezhető el. A vizsgált szabályozás nem rendezi egyértelműen a tűzszerészeti átvizsgálás sugárvédelmi támogatását, és a szakirodalom sem tartalmaz önálló eRDD-specifikus kriminalisztikai zónarendszert vagy egységes végrehajtási protokollt. Ezekre a területeken az érintett szakterületek feladatainak, felelősségi viszonyainak és együttműködési rendjének előzetes, egyértelmű meghatározása szükséges.

HIVATKOZOTT IRODALOM JEGYZÉKE

- [1] Szklarski Łukasz (2024): *The Threat of CBRN Terrorism: An Overview and Improvised Use of Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Materials*. Zeszyty Naukowe SGSP. 91.(2). DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0054.7565>
- [2] European Commission (é. n.): *Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Risk Mitigation*. Brussels: European Commission. Forrás: https://cbnr-risk-mitigation.network.europa.eu/index_en (Letöltés: 2025. 07. 17.)
- [3] Walsh Patrick F. (2022): *Evolving Chemical, Biological, Radiological and Nuclear (CBRN) Terrorism: Intelligence Community Response and Ethical Challenges*. In: Miller, Seumas – Regan, Mitt – Walsh, Patrick F. (szerk.): *National Security Intelligence and Ethics*. Abingdon, Oxon: Routledge. pp. 261–279. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781003164197-23>
- [4] Európai Bizottság (2017): *A Bizottság közleménye az Európai Parlamentnek, a Tanácsnak, az Európai Gazdasági és Szociális Bizottságnak és a Régiók Bizottságának. Cselekvési terv a vegyi, biológiai, radiológiai és nukleáris biztonsági kockázatokkal szembeni felkészültség fokozásáról*. Brüsszel: Európai Bizottság Forrás: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:52017DC0610&from=EN> (Letöltés: 2025. 07. 18.)
- [5] United Nations Interregional Crime and Justice Research Institute (2024): *A Prosecutor's Guide to Radiological and Nuclear Crimes*. Turin: UNICRI. Forrás: <https://unicri.org/prosecutors-guide-radiological-and-nuclear-crimes> (Letöltés: 2024. 05. 23.)
- [6] Technical Working Group for Bombing Scene Investigation (2000): *A Guide for Explosion and Bombing Scene Investigation*. Washington, D.C.: U.S. Department of Justice, National Institute of Justice. Forrás: <https://www.ojp.gov/pdffiles1/nij/181869.pdf> (Letöltés: 2024. 10. 02.)
- [7] Daruka Norbert – Szalkai László (2024): *Detection of Explosives and Explosive Devices: Current Issues*. In: Németh, Kornél – Jakab, Bálint – Péter, Erzsébet (szerk.): *VIII. Turizmus és Biztonság Nemzetközi Tudományos Konferencia Tanulmánykötet*. Veszprém: Pannon Egyetemi Kiadó, 436–448.
- [8] Volarics József (2024): *Lehetőségek a robbantással elkövetett terrorcselekmények helyszíni adatainak digitális rögzítésére és értékelésére*. Hadmérnök. 19.(4). pp. 199–212. DOI: <https://doi.org/10.32567/hm.2024.4.14>
- [9] Kovács-Széles Éva – Almási István – Balaskó Ákos – Bíró Csaba – Bodor Károly – Csöme Csilla – Kakuja Izabella – Kreitz Zsuzsanna – Papp Kornél – Tóbi Csaba – Volarics József (2020): *Hogyan kezeljük egy radioaktív anyaggal szennyezett bűnügyi helyszínt? Belügyi Szemle*, 68(12), 43–62. DOI: <https://doi.org/10.38146/BSZ.2020.12.2>
- [10] International Atomic Energy Agency (2014): *Radiological Crime Scene Management*. IAEA Nuclear Security Series No. 22–G. Vienna: International Atomic Energy Agency. Forrás: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pu1672web-85447671.pdf> (Letöltés: 2021. 11. 16.)

- [11] Daly Peter – Ullah Ihsan (2018): *Remotely Operated CBRNe Scene Assessment & Forensic Examination. Deliverable 2.2: End-User Requirements. ROCSAFE Project* (Horizon 2020, Grant Agreement No. 700264). Forrás: <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5bd11d2eb&appId=PPGMS> (Letöltés: 2023. 09. 12.)
- [12] Gazdag Ferenc – Remek Éva (2018): *A biztonsági tanulmányok alapjai*. Budapest: Dialóg Campus. Forrás: <https://webshop.ludovika.hu/termek/konyvek/rendezettudo-many/a-biztonsagi-tanulmanyok-alapjai/> (Letöltés: 2024. 05. 16.)
- [13] Ajlouni Abdul-Wali M. S. – Mobaydeen Akef M. (2014): Design of Nuclear Security Regime to Combat Nuclear Terrorism. *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering*, 1.(5). pp. 210–215. Forrás: http://ijirae.com/AdminUploadPdf/Design_of_Nuclear_Security_Regime_to_Combat_Nuclear_Terrorism_ijirae.pdf (Letöltés: 2025. 04. 10.)
- [14] United Nations (2005): *International Convention for the Suppression of Acts of Nuclear Terrorism*. New York: United Nations. Forrás: https://treaties.un.org/doc/source/RecentTexts/English_18_15.pdf (Letöltés: 2026. 07. 01.)
- [15] Leikin Jerrold B. – McFee Robin B. – Walter Frank G. – Edsall Keith (2003): *A Primer for Nuclear Terrorism*. *Disease-a-Month*. 49.(8). pp. 485–516. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0011-5029\(03\)00100-7](https://doi.org/10.1016/S0011-5029(03)00100-7)
- [16] Melamud Aviv – Gören Nilsu (2012): *A Regional Arrangement on Securing Radiological Agents as a CSBM: Common Interest in Preventing Radiological Terrorism*. Background Paper. Second EU Non-Proliferation Consortium Seminar to Promote Confidence Building and in Support of a Process Aimed at Establishing a Zone Free of WMD and Means of Delivery in the Middle East. Brussels, 5–6 November 2012. Forrás: https://www.nonproliferation.eu/wp-content/uploads/npr_3-radiologicalterrorism.pdf (Letöltés: 2025. 04. 10.)
- [17] Khripunov Igor (2006): *The Social and Psychological Impact of Radiological Terrorism*. The Nonproliferation Review. 13.(2). pp. 275–316. DOI: <https://doi.org/10.1080/10736700601012110>
- [18] Sarro Federico (2020): *Radiological Terrorism and the Forgotten Threat among Weapons of Mass Destruction*. Global Strategy, 19 May 2020. Forrás: <https://global-strategy.org/radiological-terrorism-and-the-forgotten-threat-among-weapons-of-mass-destruction/> (Letöltés: 2025. 04. 10.)
- [19] Wirz Christoph – Egger Emmanuel (2005): *Use of nuclear and radiological weapons by terrorists?* *International Review of the Red Cross*. 87.(859). pp. 497–510. Forrás: https://international-review.icrc.org/sites/default/files/irrc_859_5.pdf (Letöltés: 2024. 03. 07.)
- [20] Andersson Kasper G. et al. (2011): *New Threats and New Challenges for Radiological Decision Support*. In: *Proceedings of the Third European IRPA Congress*. Helsinki: International Radiation Protection Association (IRPA). pp. 1738–1745. Forrás: <http://www.irpa2010europe.com/pdfs/proceedings/S11-P11.pdf> (Letöltés: 2023. 09. 12.)
- [21] North Atlantic Treaty Organization (2020): *AAP-06 NATO Glossary of Terms and Definitions (English and French)*. Brussels: NATO Standardization Office. Forrás: [https://www.coemed.org/files/stanags/05_AAP/AAP-06_2020_EF_\(1\).pdf](https://www.coemed.org/files/stanags/05_AAP/AAP-06_2020_EF_(1).pdf) (Letöltés: 2026. 07. 16.)
- [22] Daruka Norbert (2018): A jövő háborúi az improvizált robbanószerkezetek alkalmazásának tekintetében. *Sereg Szemle* 16(2) pp. 7–22. Forrás: <https://honvedelem.hu/images/media/5f58bebc52f24724003876.pdf>
- [23] Melnick Alan L. (2008): *Radiological Terrorism*. In: Melnick, Alan L. (ed.): *Biological, Chemical, and Radiological Terrorism*. New York: Springer. pp. 159–196. Forrás: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-387-47232-4_4 (Letöltés: 2026. 07. 09.)
- [24] Petrétai Dávid (2020): A kriminalisztikai fényképezés egyes aktuális kérdései. *Magyar Bűnűldöző*, 11.(1–2). pp. 12–22. Forrás: <https://punkt.hu/2021/06/15/a-kriminalisztikai-fenykepzeset-egyes-aktualis-kerdesei/> (Letöltés: 2025. 07. 17.)
- [25] Thurman James T. (2011): *Practical Bomb Scene Investigation*. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis Group. ISBN: 9781439819609.

- [26] 1994. évi XXXIV. törvény a Rendőrségről. 37. §. Forrás: <https://njt.jog.gov.hu/jogszabaly/1994-34-00-00> (Letöltés: 2024. 03. 24.)
- [27] 30/2011. (IX. 22.) BM rendelet a rendőrség bünygyi szolgálati feladatai ellátásának részletes szabályairól, 10. §. Forrás: <https://njt.jog.gov.hu/jogszabaly/2011-30-20-0A> (Letöltés: 2024. 03. 24.)
- [28] College of Policing (2024): *Authorised Professional Practice – Response*. College of Policing. Forrás: <https://www.college.police.uk/app/civil-emergencies/civil-contingencies/response> (Letöltés: 2026. 07. 21.)
- [29] 490/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet a hiányzó, a talált, valamint a lefoglalt nukleáris és más radioaktív anyagokkal kapcsolatos bejelentésekről és intézkedésekről, továbbá a nukleáris és más radioaktív anyagokkal kapcsolatos egyéb bejelentést követő intézkedésekről. Forrás: <https://njt.jog.gov.hu/jogszabaly/2015-490-20-22> (Letöltés: 2024. 03. 24.)
- [30] Országos Atomenergia Hivatal (2020): *Radioaktív sugárforrások felismerése és kezelése. SV–22. sz. útmutató. 2. verzió*. Budapest: Országos Atomenergia Hivatal. Forrás: <https://www.katasztrófavedelem.hu/application/uploads/documents/2020-08/72351.pdf?utm> (Letöltés: 2026. 07. 24)
- [31] NATO Explosive Ordnance Disposal Centre of Excellence (2017): *Informal Interorganizational Glossary of EOD Terminology*. Forrás: <https://www.eodcoe.org/files/en/standardization/concept-doctrine-standardization/terminology/new-eod-terminology.pdf> (Letöltés: 2026. 07. 26.)
- [32] 16/2000. (VI. 8.) EüM rendelet az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról, 26. §.
- [33] Ridegh Rajmond – Olchváry-Milvius Attila (1936): *Bűnygyi nyomozástan. I. kötet*. Budapest: Hornyánszky Viktor R.-T. M. Kir. Udvari Könyvnyomda Kiadványa. Forrás: <https://csendor.com/konyvtar/konyvek/Nyomozastan1936/Nyomozastan1936%20pp464-542.pdf> (Letöltés: 2026. 07. 27.)
- [34] Petrétai Dávid (2018): A bűnygyi helyszín a szabványosítási tendenciák és az új Be. tükrében. *Rendőrségi Tanulmányok*, 1.(3.). pp. 4–48. Forrás: https://r-tt.hu/sites/default/files/rt/2022/08/2018_3_petretei_david.pdf (Letöltés: 2026. 07. 27.)
- [35] Kovács–Széles Éva et al. (2019): *Protokoll sugárzó anyagokkal szennyezett helyszíni munka esetére*. Belső Biztonsági Alap, BBA-5.3.3/3-2017-00010 projekt. Budapest.
- [36] Viski László (1961): *A bűncselekmény és elkövetője felderítésének, a bizonyítékok megszerzésének a módszerei*. In: Garamvölgyi Vilmos (főszerk.): *Kriminálisztika*. Budapest: Belügyminisztérium Tanulmányi és Módszertani Osztálya, 327–622.
- [37] Federal Bureau of Investigation (1984): *Handbook of Forensic Science*. Revised March, 1984. Washington, D.C.: U.S. Department of Justice, Federal Bureau of Investigation. Forrás: <https://www.ojp.gov/pdffiles1/Digitization/95271NCJRS.pdf?utm=> (Letöltés: 2026. 07. 30.)
- [38] Lapat Attila (2002): *Robbanóanyag-analitikai vizsgálati módszerek alkalmazása az igazságügyi szakértői munkában, szerepük a robbanóanyaggal elkövetett bűncselekmények felderítésében*. PhD-disszertáció. Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem. Forrás: <http://hdl.handle.net/20.500.12944/11960> (Letöltés: 2024. 10. 02.)
- [39] Angyal Miklós – Petrétai Dávid (2019): Az Interpol DVI-protokoll-adaptációjával a hazai áldozatazonosítás fejlesztésének útján. *Nemzetbiztonsági Szemle*, 7.(1.) pp. 3–17. Forrás: https://real.mtak.hu/104231/1/NBSZ_2019_1_01_AngyalM-PetreteiD.pdf (Letöltés: 2026. 07. 28.)
- [40] 2017. évi XC. törvény a büntetőeljárásról. Forrás: <https://njt.jog.gov.hu/jogszabaly/2017-90-00-00> (Letöltés: 2024. 03. 24.)

A TŰZSZERÉSZ (EOD) MUNKAKÖR SPECIFIKUS PSZICHOSZOCIÁLIS KOCKÁZATAI ÉS A MENTÁLIS EGÉSZSÉGVÉDELMI STRATÉGIÁK ÁTFOGÓ TUDOMÁNYOS ELEMZÉSE

A COMPREHENSIVE SCIENTIFIC ANALYSIS OF THE JOB-SPECIFIC PSYCHOSOCIAL RISKS ASSOCIATED WITH THE ROLE OF AN EXPLOSIVE ORDNANCE DISPOSAL (EOD) OFFICER AND MENTAL HEALTH PROTECTION STRATEGIES

GÁBOR Edina¹

ÖSSZEGZÉS

A tűzszerező munkakör a fegyveres és rendvédelmi szervezetek egyik legnagyobb pszichés és fizikai megterheléssel járó szakterülete, amelyben a közvetlen életveszély, a folyamatos döntési kényszer és a magas felelősségi szint együttesen jelentős pszichoszociális kockázatot eredményez. A tanulmány célja a tűzszerezési tevékenységhez kapcsolódó pszichoszociális stresszorok, neurobiológiai mechanizmusok és mentális egészségügyi kockázatok átfogó elemzése, valamint a megelőzés és a szervezeti támogatás nemzetközi gyakorlatainak bemutatása. A szerző áttekinti a krónikus stressz, az allosztatikus terhelés, a poszttraumás stressz zavar (PTSD), a speciális védőfelszerelésből eredő fiziológiai és kognitív terhelések, valamint a szervezeti kultúra és a vezetői felelősség összefüggéseit. A kutatás részletesen elemzi a WHO, az ENSZ (UNMAS/IMAS) és a NATO mentálhigiénés ajánlásait, továbbá összehasonlítja a magyar, a brit és az amerikai pszichoszociális támogatási rendszereket, különös tekintettel a rezilienciafejlesztésre és a bajtársi támogatásra (Peer Support), a Trauma Kockázatkezelési Rendszer (TRiM) és a Kritikus Incidensek Stresszkezelési Rendszere (CISM) alkalmazására. Az elemzés rámutat arra, hogy a tűzszerezőállomány mentális egészségének megőrzése nem kizárólag egyéni, hanem szervezeti és vezetői felelősség is, amely a műveleti hatékonyság, a biztonság és a hosszú távú hadrafoghatóság meghatározó tényezője. A tanulmány olyan fejlesztési irányokat fogalmaz meg, amelyek hozzájárulhatnak a hazai EOD-képességek mentális egészségvédelmi rendszerének korszerűsítéséhez. **Kulcsszavak:** tűzszerező, pszichoszociális kockázatok, mentális egészség, poszttraumás stressz zavar.

ABSTRACT

The role of an Explosive Ordnance Disposal (EOD) specialist is one of the most psychologically and physically demanding specialisms within armed forces and law enforcement organisations, in which the combination of immediate danger to life, the constant need to make decisions and a high level of responsibility results in significant psychosocial risks. The aim of this study is to provide a comprehensive analysis of the psychosocial stressors, neurobiological mechanisms and mental health risks associated with explosive ordnance disposal work, as well as to present international practices regarding prevention and organisational support. The author reviews the links between chronic stress, allostatic load, post-traumatic stress disorder (PTSD),

¹ Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola doktorandusz hallgató, pszichológus. E-mail: edina.gabor.psy@gmail.com; ORCID: 0009-0009-0421-0252.

physiological and cognitive strain arising from specialised protective equipment, as well as organisational culture and managerial responsibility. The research provides a detailed analysis of the mental health recommendations issued by the WHO, the UN (UNMAS/IMAS) and NATO, and compares the Hungarian, British and American psychosocial support systems, with particular regard to resilience-building and the application of Peer Support, Trauma Risk Management (TRiM) and Critical Incident Stress Management (CISM). The analysis highlights that safeguarding the mental health of the bomb disposal personnel is not solely an individual responsibility, but also an organisational and managerial one, which is a key factor in operational effectiveness, safety and long-term combat readiness. The study sets out areas for development that could contribute to the modernisation of the mental health support system for domestic EOD capabilities.

Keywords: *explosive ordnance disposal, psychosocial risks, mental health, post-traumatic stress disorder.*

BEVEZETÉS A TŰZSZERÉSZI HIVATÁS PSZICHOSZOCIÁLIS DIMENZIÓIBA ÉS AZ EXTRÉM KOCKÁZATI ÖKOSZISZTÉMÁBA

A fegyveres erők, a rendvédelmi szervek és a humanitárius aknamentesítő missziók struktúrájában a tűzserész, azaz az EOD (Explosive Ordnance Disposal) munkakör egyedülálló kihívásokat támaszt az állománnyal szemben. Az ebben a beosztásban szolgálatot teljesítő személyek tevékenysége nem csupán a fizikai sérülések, a robbanás okozta légnyomás vagy a primer és szekunder repeszhatások közvetlen veszélyét foglalja magában, hanem egy olyan extrém pszichoszociális ökoszisztémát is jelent, amely folyamatos neurokognitív, emocionális és fiziológiai alkalmazkodást követel meg. A pszichoszociális kockázatok a munkakörnyezet azon komplex tényezőiként definiálhatók, amelyek stresszt, pszichés kimerültséget, kognitív diszfunkciót vagy interperszonális problémákat okoznak a munkavállaló számára, közvetlenül befolyásolva mind a teljesítőképességet, mind pedig a hosszú távú egészségi állapotot. [1]

A tűzserészek esetében ezek a kockázatok hatványozottan, szinergikus módon jelennek meg. A feladatvégzés immanens [2] és elkerülhetetlen része az emberi élet – mind a saját, mind a bajtársak, mind pedig a civil lakosság életének – folyamatos kockáztatása. Ehhez társul a zero hibatűrésű döntéshozatali kényszer, a hierarchikus parancsnoki rendszerekből fakadó szervezeti nyomás, valamint a speciális munkaruházat (EOD *bomb suit*) okozta extrém termoregulációs zavar és szenzoros izoláció. A modern kockázatkezelési paradigmák, ahogyan azt a nemzetközi iránymutatások (például a WHO, a NATO és az ENSZ doktrínái) is tükrözik, egyre inkább felismerik, hogy a hagyományos, pusztán a fizikai biztonságra fókuszáló munkavédelmi megközelítések elégtelenek. Az integrált kockázatkezelésnek magában kell foglalnia a mentálhigiénés prevenciót, a kognitív rezilienciafejlesztést, valamint a traumatikus események utáni strukturált, szervezeti szintű pszichológiai támogatást annak érdekében, hogy a tűzserészek szakmai hatékonysága és életminősége fenntartható maradjon.

A jelen kutatási jelentés kimerítő részletességgel elemzi az EOD munkakör specifikus pszichoszociális kockázatait, a nemzetközi szakmai szervezetek mentális egészségügyi irányelveit, áttekintést nyújt a többnyelvű (magyar, angol, spanyol, német, francia) tudományos publikációkról, bemutatja a bevált szervezeti intervenciók technikákat [3] (mint a *peer support* és a CISD²), valamint összehasonlító elemzést nyújt a hazai és a nemzetközi pszichoszociális támogatási rendszerekről.

² Critical Incident Stress Debriefing – egy strukturált csoportos beavatkozási módszer, amelyet eredetileg Jeffrey T. Mitchell dolgozott ki. A módszer a kritikus események (haláleset, robbanás, tömegbaleset, harci cselekmény stb.) utáni pszichés reakciók feldolgozását célozza.

A TŰZSZERÉSZ MUNKAVÉGZÉS SPECIFIKUS PSZICHOSZOCIÁLIS KOCKÁZATAI ÉS NEUROBIOLÓGIAI MECHANIZMUSAI

Az emberi élet kockáztatása és a folyamatos veszélyhelyzetből fakadó allosztatikus teher³

A tűzszereési tevékenység magja a közvetlen, sok esetben elháríthatatlan életveszéllyel való konfrontáció. A folyamatos veszélyhelyzetből fakadó mentális teher fokozatosan kimeríti az egyén pszichés és neurobiológiai tartalékait, ami krónikus stresszállapothoz és a kognitív funkciók beszűküléséhez vezet. A modern pszichiátriai és neurobiológiai kutatók rávilágítanak arra, hogy a traumatikus eseményeknek való kitettség, illetve a halálos kimenetelű hibák lehetőségének állandó tudata egyfajta masszív „allosztatikus terhelést” (*allostatic load*) hoz létre a szervezetben. [2] Az allosztázis a szervezet azon adaptív képessége, hogy a változó környezeti kihívásokra (stresszorokra) válaszol, a neuroendokrin rendszer (például a hipotalamusz–hipofízis–mellékvesekéreg tengely) aktiválásával fenntartsa a belső egyensúlyt. Azonban az EOD-operátorok esetében ez a fiziológiai riasztórendszer folyamatos túlműködésben van. Ez a tartós hiperarousal hosszú távon a kardiovaszkuláris, az immunológiai és a neuroendokrin rendszerek végletes kimerüléséhez vezet. A tudományos evidenciák bizonyítják, hogy a megnövekedett allosztatikus terhelés jelentős fizikai morbiditással társul, amely krónikus mozgásszervi fájdalmak, magas vérnyomás (hipertónia), hiperlipidémia, elhízás és súlyos szív- és érrendszeri megbetegedések formájában manifesztálódik. [2]

Ezt a kumulatív terhelést drasztikusan súlyosbítja az a tény, hogy a biztonságérzetet befolyásoló körülmények az esetek többségében kontrollálhatatlanok. A terepen végzett munka során a környezeti változók – mint például a kedvezőtlen időjárás, a bonyolult terepviszonyok, az aszimmetrikus hadviselésből fakadó ellenséges tevékenység, vagy a robbanószervezetek kiszámíthatatlan technikai felépítése – állandó bizonytalanságot generálnak. A mentális és pszicho-emocionális stresszorok közé tartozik továbbá a súlyos, csonkolásos balesetekkel vagy emberi maradványokkal való konfrontáció, a folyamatos felelősségérzet, valamint a kudarc súlyos következményeinek terhe [3]. Ezen túlmenően a tűzszerező feladatellátás során gyakori a „lezárás hiánya” (*lack of closure*), ami azt jelenti, hogy az operátorok ritkán kapnak visszacsatolást a tágabb műveleti sikerekről, ami tovább növeli a belső kognitív disszonanciát és a frusztrációt. [3]

A POSZTTTRAUMÁS STRESSZ ZAVAR (PTSD), A SZENZIBILIZÁCIÓ ÉS A KINDLING MECHANIZMUS

A tűzszerezők esetében a poszttraumás stressz zavar (PTSD) etiológiája gyakran eltér a klasszikus, egyetlen izolált traumatikus eseményre (például egy konkrét balesetre)

³ A szervezetet érő tartós vagy ismétlődő stressz felhalmozódó biológiai „ára”. A fogalmat elsősorban Bruce McEwen munkássága tette ismertté. [4] Az allosztatikus teher akkor alakul ki, amikor a stressz túl gyakori, túl intenzív, túl hosszú ideig tart, vagy a regeneráció elégtelen. Ilyenkor az alkalmazkodási rendszer „elhasználódik”.

visszavezethető pszichopatológiai modellektől. A szakirodalom a késleltetett kezdetű (*delayed onset*) PTSD kialakulásában a szenibilizáció és a „kindling” (parázslás vagy begyújtás) jelenségének meghatározó szerepet tulajdonít. [2] A kindling-mechanizmus lényege, hogy a folyamatos, ismétlődő, akár alacsonyabb intenzitású környezeti stresszorok és mikro-traumák idővel egyre fokozódó neurobiológiai diszregulációt váltanak ki az idegrendszerben. A trauma idején az agykéregben és az amygdalában kialakuló traumatikus memória-nyomok rendkívüli sebezhetőséget hoznak létre.

Ennek következtében azok a tűzserészek, akik a primer műveleti expozíció idején lát-szólag kiválóan küzdöttek meg a helyzettel és magas szintű teljesítményt nyújtottak, évekkel később is súlyosan megbetegedhetnek. Ahogy a traumatikus emlékek és az állandó környezeti triggererek progresszíven újraaktiválják a stresszválaszokat, a tünetek (intruzív emlékek, elkerülő viselkedés, hipervigilancia) eszkalálódnak. [2] A katasztrófák, traumatikus események és robbanásos incidensek túlélői körében a kockázati és a reziliencia (védő) tényezők finom egyensúlya határozza meg a hosszú távú kimenetelt. A legerősebb kockázati tényezők közé tartozik az eseménynek való kitettség objektív súlyossága (például közvetlen életveszély vagy súlyos sérülés), a poszttraumatikus nehézségek jelenléte, valamint a gyenge vagy romló pszichoszociális erőforrások. [5] Ha az EOD-operátor nem kap megfelelő szervezeti és társas támogatást, a folyamatos allosztatikus túlterhelés elkerülhetetlenül major depresszióhoz, generalizált szorongáshoz vagy teljes értékű PTSD-hez vezet.⁵

HIERARCHIKUS DÖNTÉSI FOLYAMATOK, SZERVEZETI STRESSZ ÉS AZ IZOLÁLT FELELŐSSÉG

A fegyveres erők, a rendőrségi alegységek és az aknamentesítő szervezetek rendkívül szigorú, vertikális hierarchikus struktúrák alapján működnek. Bár ez a parancsnoki láncolat (*chain of command*) elengedhetetlen a fegyelem és a koordináció fenntartásához, önmagában is az egyik legjelentősebb pszichoszociális stresszforrásként funkcionál. A hierarchikus döntési folyamatok gyakran bürokratikusak, rugalmatlanok, és nem veszik figyelembe a terepen dolgozó operátor valós idejű kognitív szükségleteit.

A tűzserészek nap mint nap szembesülnek azzal a műveleti paradoxonnal, hogy miközben egy merev alá-fölérendeltségi rendszer részei, a robbanótest hatástalanítása során a végső, kritikus, élet-halál kérdésében hozott döntést teljesen egyedül, fizikai és pszichológiai elszigeteltségben kell meghozniuk. A NATO vonatkozó orvosi és pszichológiai irányelvei kifejezetten felhívják a figyelmet arra, hogy a speciális munkakört betöltő katonák gyakran az egyedüli olyan személyek az adott műveleti területen, akik rendelkeznek a szükséges mélységű szaktudással (ezt a doktrína „only person with that specialist knowledge” állapotként definiálja). Ez a tudásmonopólium extrém mértékűvé fokozza a rájuk nehezedő személyes, morális és szakmai felelősséget. [6]

Ez az izolált döntéshozatali kényszer hatalmas időkényszerrel és a hibázás lehetőségének teljes kizárásával párosul. A döntési folyamat minden egyes másodperce a kognitív funkciók maximális feszítettségét igényli, hiszen egyetlen téves mozdulat nem csupán az operátor saját életét, hanem a támogató személyzet, a civil lakosság életét, valamint a kritikus infrastrukturális javakat is megsemmisítheti. További súlyosbító tényező, hogy a katonai és rendvédelmi kultúra tradicionális értékrendje (amely

a megalkuvás nélküli erőt, a sebezhetetlenséget és az érzelmi kontrollt preferálja) gyakran stigmával társítja a mentális nehézségek beismerését. Ez a hierarchiából és a szervezeti kultúrából fakadó „hallgatási spirál” drasztikusan gátolja az időbeni pszichológiai segítségkérést és a proaktív intervenciót. [7]

A SPECIÁLIS MUNKARUHÁZATBÓL (EOD BOMB SUIT) ADÓDÓ PSZICHOSZOCIÁLIS ÉS KOGNITÍV TERHEK

A tűzszerező munka egyik legmarkánsabb, a civil és az egyéb katonai/rendvédelmi foglalkozásoktól élesen elkülönülő jellemzője a speciális repesz- és robbanásálló védőruházat (EOD *bomb suit*) alkalmazása. A védőruházat primer és elengedhetetlen funkciója a túlnyomás, a primer és szekunder repeszek, a tompa becsapódás, valamint a hőhatás elleni maximális fizikai védelem biztosítása [8][9]. Ugyanakkor az elmúlt évtizedek emberi tényezőket (*human factors*) vizsgáló ergonómiai és pszichológiai kutatásai egyértelműen rávilágítottak arra, hogy ez a masszív fizikai védőburok önmagában is az egyik legszignifikánsabb pszichoszociális, fiziológiai és kognitív stresszforrássá válik az operátor számára.⁴

TERMOREGULÁCIÓS ZAVAROK, EXTRÉM FIZIOLÓGIAI STRAIN ÉS A KOGNITÍV HANYATLÁS

A legkorszerűbb védőruhák (mint például a széles körben alkalmazott EOD-9, EOD-10 vagy az újabb Advanced Bomb Suit modellek) tömege gyakran meghaladja a 33-35 kilogrammot. [8][9] A belső, nagy szilárdságú védőanyagok és az azt alkotó nagy sűrűségű aramidszálak, üvegyapot lemezek és polikarbonát műanyagok eloszlása a testen gyakran egyenetlen, ami megbontja a technikus biomechanikai egyensúlyát a rendkívüli precizitást igénylő, finommotoros manipulációs feladatok során. [10][11] A ruházat majdnem teljesen izoláló jellege miatt a viselő belső, metabolikus hőtermelése a fizikai munka hatására drasztikusan megnő, miközben a hőleadás (párolgás és konvekció révén) szinte teljesen akadályozott. [8][9]

A Stewart és munkatársai által végzett, a *PLoS ONE* folyóiratban publikált kontrollált laboratóriumi vizsgálatok pontosan számszerűsítették ezt a terhelést. A kutatás során egészséges férfiak EOD-9 ruházatban (33,4 kg) végeztek szimulált feladatokat különböző hőmérsékleti viszonyok között (21 °C, 30 °C és 37 °C WBGT – nedves hőmérő globusz hőmérséklet). Az eredmények megdöbbentőek: az extrém fiziológiai toleranciaidő mindössze 10 és 60 perc között mozgott, a magasabb hőmérsékleti és terhelési tartományokban szignifikánsan lecsökkenve. A kísérletek többségét azért kellett idő előtt megszakítani, mert az alanyok szívritmusa elérte a maximális pulzusszám 90%-át, ami moderált-magas szintű fiziológiai stresszt (*strain*) indikált [8]. Ez a masszív, kontrollálhatatlan fiziológiai megterhelés közvetlenül és szinte azonnal kognitív és pszichológiai stresszé konvertálódik. [12] A termoregulációs egyensúly felborulása és az agyi

⁴Bővebben lásd: Daruka Norbert: Az EOD-9 védőfelszerelés alkalmazhatósága a hazai és a nemzetközi tűzszerező feladatok ellátása során című publikációjában.

véráramlás (perfúzió) megváltozása következtében a technikusoknál pszichológiai zavartság, irracionális viselkedési mintázatok, megváltozott tudatállapot, erős szédülés, valamint úgynevezett volicionális (akarati) kimerültség és heves hányinger léphet fel. [12] A kognitív stressz mértéke kritikus egy olyan munkakörben, ahol a helyes vezeték elvágása, az időzítő szerkezet manipulálása vagy egy improvizált robbanószerkezet (IED) röntgenképének elemzése ezredmásodperceken és a tökéletes kognitív fókuszon múlik. A hőstressz okozta kognitív hanyatlás fatális pszichológiai nyomást eredményez, amely a küldetés sikerét és az életben maradást is veszélyezteti.

SZENZOROS DEPRIVÁCIÓ, KOMMUNIKÁCIÓS SZAKADÉK ÉS A „GÁZÁLARCFÓBIA”

A védőruha, a nehéz ballisztikus sisak és az esetenként elkerülhetetlenül alkalmazott vegyvédelmi/légzőkészülékek (CBRN-környezetben) drasztikusan korlátozzák az operátor látóterét, hallását és kinesztetikus érzékelését. A katonapszichológiai kutatások rámutatnak, hogy ez az erős izoláció szétzúzza a sikeres interperszonális kommunikációt. A paralingvisztikai jelek (például a hangszín finom változásai) tompulnak, és a nonverbális kommunikációs elemek (arc kifejezések, testtartás, gesztusok) a ruha borítása miatt teljesen elvesznek a külső támogató személyzet számára [13]. A személyes azonosíthatóság teljes hiánya, az egyén név és rendfokozat nélküli arctalan „páncélos lénné” válása mély pszichológiai elszigeteltséget szül [13].

Ez a fizikai és mentális bezártságérzet gyakran vezet heves pszichológiai reakciókhoz, amelyet a nemzetközi szakirodalom „gázálarcfóbiaként” (*gas mask phobia*) vagy heves akut klausztofóbiás rohamként ír le [13]. Bár a kiképzett tűzserészeknél ez ritkábban éri el a pánikroham szintjét, a fizikai erőfeszítés és a zárt tér együttesen olyan extrém mértékű észlelt megterhelést (*perceived exertion*) eredményez, amely a kutatások szerint a valós fiziológiai és kognitív terhelés legpontosabb prediktora. [12]

A hazai rendvédelmi és katonai szakirodalom (például a *Hadmérnök* folyóirat vagy a *Repüléstudományi Közlemények* publikációi) szintén megerősítik ezen tényezők validitását. A Magyar Honvédségnél és a rendőrség tűzserész szolgálatánál is rendszeresített EOD-9 és EOD-10 típusú nehéz, illetve az LDE típusú könnyű tűzserész védőruhák, bár

1. táblázat. Az EOD védőruházattal kapcsolatos kognitív és pszichoszociális következmények (szerkesztette a szerző)

A speciális EOD-védőruházat (PPE) fizikai jellemzői	Kognitív és pszichoszociális következmények
Extrém súly és egyenetlen eloszlás (>33-35 kg) [8].	Gyors lokális izomkifáradás, egyensúlyvesztés miatti frusztráció, mozgáskorlátozottságból fakadó tehetetlenségérzet, megnövekedett kognitív teher a testtartás fenntartásához. [11]
Termoregulációs gátoltság (hőcsapda), hiányzó párolgás, gyors maghőmérséklet-emelkedés. [8]	Zavartság, irracionális viselkedés, fókuszvesztés, szédülés, akarati kimerülés (<i>volitional fatigue</i>), hányinger, a kognitív döntéshozatal lassulása. [12]
Akusztikus és vizuális bedobozoltság, a fej- és nyakmozgás blokkolása. [13]	Szenzoros depriváció, kommunikációs szakadék a külvilággal, akut szorongás, elszigeteltség, klausztofóbia (<i>gas mask phobia</i>). [13]

kiváló védelmet nyújtanak a fizikai károsító hatásokkal szemben, viselésük a kedvezőtlen klimatikus viszonyok (hideg, meleg, nedves környezet) és a szellőzés hiánya miatt szignifikáns munkaegészségügyi és pszichoszociális kockázatot jelentenek. [9] A kutatások globálisan egyre inkább az exoskeletonok⁵ (külső biomechanikus vázak), a sisakba integrált okos szenzorok (CO₂-monitorozás), valamint az aktív folyadékhűtéses (*liquid-cooling*) rendszerek azonnali fejlesztését és rendszeresítését sürgetik, hogy csökkentsék a kognitív stresszt anélkül, hogy a műveleti teljesítmény kompromittálódna. [12][14]

NEMZETKÖZI MENTÁLHIGIÉNÉS ÉS KOCKÁZATKEZELÉSI IRÁNYELVEK (NATO, ENSZ/UNMAS, WHO)

A tűzszerszerési és más magas kockázatú, veszélyes munkaköröket (például katasztrófavédelem, speciális mentők stb.) érintő pszichoszociális veszélyek globális felismerése vezetett ahhoz, hogy a vezető nemzetközi szakmai és humanitárius szervezetek dedikált irányelveket alkossanak a mentális egészség megőrzésére és a szervezeti szintű kockázatok kezelésére.

A WHO és az ILO munkahelyi mentálhigiénés irányelvei

Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) és a Nemzetközi Munkaügyi Szervezet (ILO) iránymutatásai történelmi paradigmaváltást jelentenek. Első ízben javasolják rendszer szinten a szervezeti vezetők kiképzését a pozitív munkahelyi környezet előmozdítására, a mentális stressz megelőzésére és a distresszben⁶ lévő munkavállalókkal való konstruktív kommunikációra. [15] A WHO jelentése sokkoló statisztikákkal támasztja alá a cselekvés szükségességét: a munkaképes korú felnőttek mintegy 15%-a küzd valamilyen mentális zavarral bármely adott időpontban, és a depresszió, illetve a szorongás önmagában évi egybillió amerikai dollár gazdasági kárt okoz a globális gazdaságnak a termelékenység kiesése miatt. [16]

A magas kockázatú, humanitárius vagy vészhelyzeti munkakörökben (*emergency workers*) dolgozók – ideértve a tűzszerszeréseket is – számára a WHO szervezeti szintű intervenciókat, célzott vezetői és munkavállalói edukációs tréningeket, valamint az egyéni

⁵ Az exoskeletonok (külső vázrendszerek) olyan hordható, emberi testre rögzíthető mechanikus vagy mechatronikai eszközök, amelyek célja a felhasználó fizikai teljesítményének növelése, a mozgás támogatása, a fáradás csökkentése vagy a sérült funkciók helyreállítása. Katonai szempontból az exoskeletonok három fő csoportba sorolhatók: *Passzív exoskeletonok*: Nem tartalmaznak külső energiaforrást; rugók, csillapítók és mechanikai elemek segítségével csökkentik az izmok terhelését (pl. hosszú ideig tartó fegyvertartás vagy nehéz felszerelés viselése során). *Aktív exoskeletonok*: Elektromos, hidraulikus vagy pneumatikus meghajtással rendelkeznek, és jelentősen növelhetik az emelhető teher nagyságát, a menetképességet vagy az állóképességet. *Hibrid exoskeletonok*: A passzív és aktív rendszerek előnyeit ötvözik, alkalmazkodva az eltérő műveleti feladatokhoz.

⁶ A distressz a stressz maladaptív (negatív) formája, amely akkor jelentkezik, amikor a személy a rá nehezedő követelményeket saját erőforrásaihoz és megküzdési képességeihez képest túlzónak ítéli. Ennek következtében pszichológiai, kognitív és fiziológiai működése kedvezőtlen irányba változik, ami csökkenti a teljesítményt, rontja a helyzetfelismerést és a döntéshozatalt, valamint növeli a testi és mentális megbetegedések kialakulásának kockázatát.

megküzdési stratégiák finomhangolását írja elő. [16] A jelentés különös hangsúlyt fektet arra, hogy a munkahelyi környezet nem szigetelhető el a szélesebb társadalmi problémáktól; a diszkrimináció, az egyenlőtlenség és különösen a mentális egészséggel kapcsolatos stigma azonnali eliminálása elengedhetetlen, mivel ez az egyik legnagyobb gátja az őszinte kommunikációnak és a segítségkérésnek a fegyveres testületeknél. [15]

Az ENSZ (UNMAS) és az IMAS (International Mine Action Standards) protokolljai

Az Egyesült Nemzetek Szervezetének Aknamentesítő Szolgálat (UNMAS), a Genfi Nemzetközi Humanitárius Aknamentesítési Központtal (GICHD) együttműködve, kiadta és folyamatosan frissíti a Nemzetközi Aknamentesítési Szabványokat (IMAS). Ezek a protokollok rendkívül konkrét és számon kérhető előírásokat tartalmaznak az EOD és aknamentesítő személyzet munkaegészségügyi és pszichológiai védelmére vonatkozóan. [4]

Különösen kiemelendő az IMAS 10.40 (Medical Support to Demining Operations) dokumentum 7. fejezete, amely dedikáltan a mentális egészséggel foglalkozik [4]. A szabvány kategorikusan kimondja, hogy a veszélyes területeken dolgozó teljes személyzetnek kifogástalan mentális egészségügyi állapotban kell lennie, és a strukturált mentális egészségi állapotfelmérésnek (*mental health assessment*) a kötelező, rendszeres orvosi vizsgálatok elidegeníthetetlen részét kell képeznie. [4]

Az irányelvek mélyrehatóan felismerik, hogy az aknamentesítési és tűzzerész műveletek során szerzett pszichológiai trauma és krónikus stressz hosszú távú hatásait rendkívül nehéz azonosítani, éppen azért, mert nincsenek látható fizikai sérülések. Az emberi maradványokkal vagy súlyosan megcsonkított sérültekkel való találkozás valószínűségét előzetesen be kell építeni a mentális kockázatértékelésbe, és az állományt pszichológiailag fel kell készíteni erre az eshetőségre. [17] Az aknamentesítő szervezeteknek kötelezően biztosítaniuk kell, hogy a traumatikus incidensekben érintett vagy azok által bármilyen módon érintett személyzet megfelelő pszichológiai tanácsadásban és hosszán tartó – hónapokon vagy éveken átívelő – nyomon követésben (*monitoring*) részesüljön. [4] Ezen túlmenően a szabvány erősen ajánlja olyan szervezeti kapcsolattartók (*focal points*) kiképzését, akik képesek felismerni a trauma korai jeleit, és szakszerűen le tudnak folytatni egy traumatikus esemény utáni pszichológiai debriefinget.⁷ [17]

NATO mentálhigiénés és EOD-doktrínák (STANAG)

A NATO bonyolult és kiterjedt doktrinális rendszerében a pszichoszociális támogatás nem periférikus kérdés, hanem a műveleti képesség fenntartásának alapköve. Míg az operatív feladatokat és a tűzzerészincidensek menedzsmentjét olyan szabványok szabályozzák, mint a STANAG 2377/AEODP-13, [18] addig a mentális egészségügyi keretrendszert

⁷ A pszichológiai debriefing olyan facilitált, strukturált csoportos vagy egyéni beszélgetés, amelyet kritikus incidenseket követően alkalmaznak az események, gondolatok, érzelmek és stresszreakciók áttekintésére, a normális stresszválaszok megértésének elősegítésére, valamint a pszichológiai támogatás és a további segítségnyújtás szükségességének felmérésére.

a STANAG 2564 (Forward Mental Healthcare) és a STANAG 2565 (Psychological Guide for Leaders) definiálja részletesen. [6]

A NATO megközelítésének sarokköve, hogy a mentálhigiénés támogatás nem pusztán defenzív orvosi feladat, hanem aktív „erősorzó” (*force multiplier*) tényező, amelyet integrálni kell a műveleti tervezésbe. [6] A STANAG 2565 egyértelművé teszi a paradigmaváltást: a csapatok pszichológiai jóléte és a mentális felkészítés elsősorban a parancsnokok, azaz a szolgálati lánc (*chain of command*) felelőssége, és nem delegálható kizárólag az egészségügyi személyzetre. [6] A magas kockázatú szakfeladatokat ellátó állomány – így a tűzszerezések – esetében a NATO egy úgynevezett „rétegzett megközelítést” (*layered approach*) alkalmaz a stresszkezelésben. Ez az alacsonyabb szintekről, a bajtársi segítségnyújtástól (*buddy aid*) indul, a parancsnoki intervenciókon keresztül jut el – csak végső esetben – a speciális klinikai pszichiátriai beavatkozásokig. [6]

A mentális alkalmasság felmérésekor a missziós telepítés (deployment) előtt a NATO szigorúan előírja az adott munkakör specifikus kockázatainak értékelését. Meg kell vizsgálni a feladat „kritikusságát” (*criticality of the member*), az életveszélyes eseményeknek való kitettség valószínűségét, a pszichológiailag extrém megterhelő döntéshozatali szituációkat, a fizikai környezet nehézségeit (extrém hőmérséklet, zaj), valamint a kumulatív alvásmegvonás hatásait. [6]

TÖBBNYELVŰ TUDOMÁNYOS IRODALOM ÉS BEVÁLT PREVENCIÓS GYAKORLATOK ELEMZÉSE

A tűzszerezés és magas kockázatú munkakörök pszichoszociális aspektusainak vizsgálata globális kutatási terület. Az angol, spanyol, német, francia és magyar nyelvű tudományos publikációk elemzése rámutat arra, hogy a problémák univerzálisak, de a kulturális és intézményi válaszok jelentősen eltérhetnek.

Angol nyelvű irodalom: Reziliencia, elit teljesítmény és az USA programjai

Az angol nyelvű, elsősorban amerikai katonáorvosi kutatások a kognitív reziliencia növelésére fókuszálnak. Taylor és munkatársai a *Journal of Special Operations Medicine* folyóiratban publikált kutatásukban az US Navy EOD- (haditengerészeti tűzszerezés) operátorok által alkalmazott pszichológiai stratégiákat vizsgálták. Az eredmények rávilágítottak arra, hogy az EOD-operátorok kognitív stratégiái kísértetiesen megegyeznek az elit olimpiai sportolók által alkalmazott pszichológiai módszerekkel. [19] A leggyakrabban használt technikák a precíz célkitűzés (*goal setting*) és a mély érzelmi kontroll (*emotional control*). A diszkriminancia-analízis kimutatta, hogy a magasabb rezilienciával rendelkező operátorok szignifikánsan jobban teljesítettek ezen stratégiák alkalmazásában, ami bizonyítja, hogy a mentális állóképesség tréningekkel tudatosan fejleszthető. [19]

Ezt a felismerést ültették át a gyakorlatba a nagy amerikai katonai programok: a US Army által indított Comprehensive Soldier and Family Fitness (CSF2), a Légierő ART (Airmen Resilience Training) és a Tengerészgyalogság OSCAR programjai. [20] Ezek a programok

a kognitív átkeretezésre, a szociális kapcsolatok ápolására és az optimizmusra építve igyekeznek megelőzni a stressz okozta mentális zavarokat, felismerve, hogy a stabil „state of mind” (tudatállapot) kritikusabb, mint a pusztá fizikai erőnlét. [21]

Spanyol nyelvű irodalom: A rezilienciaprogramok európai adaptációjának korlátai

A spanyol tudományos irodalom, különösen a *Sanidad Militar* folyóiratban megjelent átfogó publikációk (Revisión de programas de resiliencia basados en la evidencia en los ejércitos), kritikusán értékeli ezeket a prevenció modelleket. [7] A tanulmányok megállapítják, hogy a katonapszichológia elmozdult a pusztá „betegséghiány” modelltől a pozitív pszichológiai és reziliencia-fókuszú megközelítések felé, fókuszálva az olyan belső faktorokra, mint a „hardiness” (kognitív keménység) és az olyan külső faktorokra, mint a csapatszellem és a parancsnoki klíma. [7] Ugyanakkor a kutatók azonosítják a súlyos implementációs *barriré*ket (akadályokat) is: a krónikus forráshiányt, a logisztikai nehézségeket, a sűrű kiképzési naptárakat, és a legfőképpen a parancsnoki támogatás hiányát, illetve a pszichológiai problémákhoz tapadó kulturális stigmát az európai haderőknél. [7]

Német nyelvű irodalom: „Arbeitsmedizin” és a sürgősségi szakemberek terhelése

A német kutatások, mint amilyen Irina Böckelmann munkássága (Psychische und körperliche Belastung im Rettungsdienst), a munkaorvostan (*Arbeitsmedizin*) szigorú módszertanával vizsgálják a sürgősségi és vészhelyzeti ellátásban dolgozók terhelését [3]. A kutatások rávilágítanak a többdimenziós stresszorokra: a fizikai terhelésre (*awkward posture*), a műszakmunkára (amely önmagában felborítja a cirkadián-ritmust és krónikus fáradtságot okoz), a teljesítménykényszerre, és a „lack of closure” (lezárás hiánya) okozta pszicho-emocionális frusztrációra. [3] A német modell válasza a rendszerszintű „Gefährdungsbeurteilung” (kockázatértékelés), amelynek során a munkavégzésből fakadó viselkedési és élménymintázatokat (AVEM – Arbeitsbezogenes Verhaltens- und Erlebensmuster) folyamatosan mérik, és erre alapozva alakítják ki a munkahelyi ergonomiai és szervezeti prevenció lépéseket. [3]

Francia nyelvű irodalom: Operatív stressz és a katarzis szükségessége

A francia katonai és polgári védelmi (*Sécurité Civile*) irodalom mélyen foglalkozik a tűzszerészek operatív stresszével. A vonatkozó tanulmányok Louis Crocq, neves katonai pszichiáter munkásságát idézik, aki rámutat arra, hogy a tűzszerészek (*démineurs*) esetében a felületes beszélgetések a hozzátartozókkal teljesen elégtelenek a felgyülemlett traumák feldolgozására. A valódi pszichológiai felépüléshez az „*abréaction*” (érzelmi lereagálás) fázisán túl el kell jutni a mély „*catharsis*” (katarzis) állapotába, ami csak és kizárólag professzionális és strukturált pszichológiai támogatással, vagy magasan képzett, a műveleti realitásokat értő bajtársi környezetben érhető el. [22]

Magyar nyelvű irodalom: A hazai rendszer specifikumai és kritikája

A magyarországi kutatások – kiemelten dr. Andó Sándor PhD-értekezése és publikációi – a Magyar Honvédség pszichológiai szűrőrendszerét vizsgálják. [23] A hazai irodalom rávilágít arra, hogy a jelenlegi katonai kiválasztási módszertan bár robusztus, sokszor túlzottan általánosító. A kutatók kritikaként fogalmazzák meg, hogy a rendszer hajlamos eltérő képességet és motivációt követelő munkaköröket egyetlen, tág „munkakörcsaládba” sűríteni. Így például a tűzszerész szakma rendkívül specifikus, az átlagostól merőben eltérő kognitív, stressztűrési és személyiségjegy-követelményeit a sztemenderizált alkalmassági vizsgálatok nem tudják kellő felbontásban mérni és megkülönböztetni. [23] A hazai publikációk sürgetik az EOD-állományra szabott, differenciált mérési metodikák és kognitív képességfejlesztő (Zrínyi HHP keretében) programok integrálását. [23]

SZERVEZETI SZINTŰ BEAVATKOZÁSI TECHNIKÁK: PEER SUPPORT ÉS CISD/CISM

A tűzszerészek pszichoszociális támogatásában a nemzetközi gyakorlat jelentős evolúción ment keresztül: elmozdult a reaktív, tisztán klinikai-orvosi megközelítésektől a proaktív, közösségre épülő (*peer-led*) és traumainformált intervenciók modellek felé.

Peer Support és a TRiM (Trauma Risk Management) rendszere

A szervezeti szintű beavatkozások egyik leghatékonyabb, legszélesebb körben vizsgált és implementált formája az Egyesült Királyság fegyveres erőinél kifejlesztett, majd a rendőrségnél és mentőszolgálatoknál is rendszeresített Trauma Risk Management (TRiM). [24] A TRiM filozófiájának alapja a felismerés, hogy a katonák és tűzszerészek mélyen gyökerező bizalmatlanságot táplálnak a „külsős” pszichológusokkal szemben, és a maszkulin szervezeti kultúra miatt tartanak a pszichiátriai megbélyegzéstől.

A TRiM egy bizonyítékokon alapuló, bajtársi (*peer*) támogató rendszer. A folyamatot nem klinikusok, hanem a szervezeten belülről érkező, speciálisan kiképzett önkéntes kollégák (TRiM practitionerek) vezetik, akik tökéletesen értik a szakma nyelvét és a művelti realitásokat. [24] A rendszer központjában egy strukturált, 10 pontos ellenőrző lista áll, amelynek segítségével a kiképzett bajtárs – ideálisan egy traumatikus eseményt követő 72 órán belül – felméri, hogy a bajtársa mutat-e olyan jeleket (például önvád, kontrollvesztés érzése, hirtelen megnövekedett alkoholfogyasztás), amelyek a PTSD vagy más mentális zavarok kialakulásának kockázatát jelzik. [24]

Fontos hangsúlyozni, hogy a TRiM nem pszichoterápia. Célja a korai kockázatértékelés, a társas kohézió (*social support*) mozgósítása, a normális stresszreakciók dekriminalizálása és a magas kockázatú egyének szakszerű orvosi/pszichológiai csatornáknak felé történő gyengéd terelése. [25] A longitudinális klinikai vizsgálatok (például Greenberg et al. cluster-randomizált kontrollált vizsgálata) kimutatták, hogy a TRiM-rendszer szignifikánsan

növeli a pszichológiai segítségkérés hajlandóságát az állomány körében, miközben csökkenti a betegállományban töltött időt és lebontja az intézményes stigmát. [26][27] Bár egyes adatok szerint a TRiM-et kapó személyeknél esetenként tartósabbnak bizonyultak a mentális tünetek, a kutatók ezt a látencia megszűnésének tulajdonítják: a rendszer sikeresen azonosítja a lappangó eseteket, akik enélkül csendben szenvednének az alkoholizmus vagy a depresszió súlya alatt. [28] A TRiM kifejezetten ajánlott EOD-egységek számára, mivel a szoros bajtársi kötelékekre épít.

Kritikus incidens utáni stressz-debriefing (CISD) és a CISM keretrendszer

A Critical Incident Stress Debriefing (CISD), amely tágabb értelemben a Critical Incident Stress Management (CISM) átfogó keretrendszerének egyik eleme, egy specifikus, strukturált krízisintervenció kiscsoportos technika. Alkalmazása sztenderd eljárás számos amerikai és nemzetközi katasztrófaelhárító és tűzserész protokollban (például az oklahomai robbantás utáni eljárásrendekben is kiemelték fontosságát). [29]

A CISD ideális esetben 24–72 órával a traumatikus esemény után történik, egy mentálhigiénés szakember és egy kiképzett „peer support” személyzeti tag együttes facilitálásával. [29] A hétlépcsős folyamat során az érintettek strukturált formában osztják meg a tényeket, gondolataikat és érzelmi reakcióikat, miközben a facilitátorok normalizálják a distressz tüneteit és pszichoedukációt nyújtanak a megküzdési stratégiákról.

Ugyanakkor a CISD hatékonysága a modern tudományos szakirodalomban erősen vitatott. [30] A kutatások egybehangzóan bizonyítják, hogy ha a debriefing kötelező jellegű, egyszeri (*standalone*) esemény, vagy ha nem megfelelően képzett személyek vezetik, az súlyosan megzavarhatja a természetes pszichológiai feldolgozási folyamatokat, és ami a legveszélyesebb: másodlagos traumatizációt (*secondary traumatization*) okozhat a részletek túlzott felidézése révén. [30] Ennek elkerülése érdekében a jelenlegi „best practice” (legjobb gyakorlat) azt diktálja, hogy a CISD-t soha ne izoláltan alkalmazzák. Csak és kizárólag egy átfogó, önkéntes alapú CISM-program részeként hatékony, amely magában foglalja a pre-incidens edukációt, a helyszíni támogatást, és a hosszú távú szakorvosi utókövetést is. [31]

ÖSSZEHASONLÍTÓ ELEMZÉS: HAZAI (MH) ÉS NEMZETKÖZI (USA, UK) TŰZSERÉSZ PSZICHOSZOCIÁLIS TÁMOGATÁSI RENDSZEREK

A pszichoszociális támogatási rendszerek architektúrája, finanszírozása és kulturális beágyazottsága jelentősen eltér az egyes nemzetek fegyveres erőinél és rendvédelmi szerveinél.

A magyar pszichoszociális támogatási rendszer (Magyar Honvédség)

Magyarországon a katonai mentálhigiéné intézményesülése az 1990-es évekre tehető, alapítói között Magyar István és Ozsváth Károly professzorokat tartják számon. [23]

2. táblázat. Pszichoszociális támogatási rendszerek összehasonlítása (szerkesztette a szerző)

Dimenzió	Magyarország (MH rendszere)	Egyesült Királyság (UK Armed Forces)	Amerikai Egyesült Államok (USA DoD)
Alapvető filozófia	Klinikai szűrés, missziós ciklus kísérése, utólagos krízisintervenció. [23]	Proaktív prevenció, bajtársi kockázatértékelés, kulturális szemléletváltás. [24]	Robusztus edukáció, pozitív pszichológia, kognitív állóképesség-építés (<i>resilience</i>). [7]
Primer intervenció aktorok	Katonapszichológusok, védelem-egészségügyi tisztiorvosok. [23]	Kiképzett önkéntes bajtársak (TRiM practitioners) felügyelet mellett. [24]	Dedikált reziliencia-trénerek (MRT), pszichológusok, lelkészek, VA-szakemberek. [21]
EOD-specifikus szűrés	Általános munkakörcsalád-szűrés (jelenleg szakmai kritika tárgya). [23]	Decentralizált, folyamatos viselkedésalapú monitorozás a csapattagok által. [25]	Elit atlétákéhoz hasonló mikroszintű pszichológiai profilozás (Special Ops, EOD). [19]
Esemény utáni (Post-incident) protokollok	Reintegrációs tréningek, kötelező egyéni pszichológiai elbeszélgetések. [23]	TRiM 10-pontos kockázatértékelés 72 órán belül, nonklinikai fókusszal. [24]	Strukturált CISD/CISM protokollok, kiterjedt PTSD kutatási programok (MOMRP). [30]

A Magyar Honvédség 1993-ban hozta létre a Csapatpszichológiai Szolgálatot, amely mára mélyen integrálódott a honvéd-egészségügyi rendszerbe. [23] A magyar modell gerincét a szigorú, pszichológiai és klinikai teszteken alapuló alkalmasságvizsgálatok, a külföldi missziós ciklusok (felkészítés, műveleti jelenlét, hazatérés) kísérése, valamint a reintegrációs (visszailleszkedést segítő) tréningek adják. [23]

A magyar rendszer erőssége a professzionális, orvosi-pszichológiai kontroll és az alapos szűrés. Ugyanakkor, amint arra Andó Sándor kutatásai rámutatnak, a rendszer túlságosan központosított és „munkakörcsalád” fókuszú. [23] Hiányoznak azok a mélyen specifikus protokollok, amelyek a tűzszerezsek (EOD) egyedi, a többiektől eltérő kognitív, figyelemfókuszálási és szenzoros követelményeit vizsgálnák. [23] Továbbá a hazai rendszer továbbra is küzd a fegyveres erőkre globálisan jellemző belső stigmával, ahol a katonapszichológushoz fordulás (mivel a klinikai szakember a hierarchia része) sokszor a gyengeség beismerésével egyenértékű az állomány szemében.

A brit és az amerikai (UK, USA) modellek

Az Egyesült Királyság modellje a TRiM alkalmazásával radikálisan decentralizált és a bajtársi (*peer*) hálózatokra helyezte a prevenció súlypontját. A britek felismerték, hogy a pszichológusok státuszának pusztá növelése önmagában hatástalan, ha a tűzszerezsek a macsó kultúra miatt nem mennek el hozzájuk. [30] A brit fókusz a *grass-roots* (alulról szerveződő) kulturális változáson van.

Az USA rendszere ezzel szemben egy masszívan finanszírozott, intézményesített hibrid modell. A megelőzés területén dominálnak az olyan kiterjedt edukációs és reziliencia

építő programok, mint a CSF2⁸ vagy a Master Resilience Training⁹ (MRT),¹⁰ amelyek már a kiképzés nulladik percétől a kognitív állóképességet súlykolják [20]. A beavatkozás területén az amerikai rendszer szigorúan alkalmazza a CISM-protokollokat. Emellett a Veteránügyi Minisztérium (VA) és a Védelmi Minisztérium (DoD) dollármilliárdokat áldoz a PTSD és a TBI (Traumatic Brain Injury) neurobiológiai kutatásaira a MOMRP (Military Operational Medicine Research Program) keretein belül. [32] Bár a spanyol katonai szakirodalom [7] óv az amerikai programok automatikus európai másolásától a kulturális és finansziális különbségek miatt, az USA EOD alakulatainál alkalmazott „elit atléta” pszichológiai megközelítés [19] világszinten iránymutató.

STRATÉGIAI ÖSSZEGZÉS ÉS IMPLEMENTÁCIÓS AJÁNLÁSOK

A tűzseréssz (EOD) munkakör pszichoszociális kockázatainak multidiszciplináris analízise rámutat arra, hogy a technikusokat érő fizikai és neurokognitív terhelés végtelenül többdimenziós, kumulatív és az esetek többségében elkerülhetetlen. A közvetlen életveszéllyel járó napi rutin, a hierarchikus parancsnoki láncolat rugalmatlansága okozta izolált döntéshozatali teher, a kiszámíthatatlan és gyakran ellenséges munkakörnyezet, valamint az emberi maradványok és halálos kimenetelű hibák okozta trauma együttesen egy kritikus és állandósult „allostatisztikus terhelést” eredményeznek a neuroendokrin rendszerben.

Ezt a masszív, amúgy is határterhelt pszichológiai nyomást könyörtelenül fizikálisan manifesztálja és súlyosbítja az EOD-munkavégzés elengedhetetlen kelléke, a Bomb Suit (tűzseréssz védőruha) kötelező viselése. A több mint 30 kilogrammos, termoregulációt teljesen megbénító ruházat nem csupán a gyors izomkifáradásért és biomechanikai egyensúlyvesztésért felelős. A hőcsapdaeffektuson és a szenzoros depriváción keresztül drasztikus agyi perfúziós deficitet, akaratát kimerülést, „gázálarc fóbiát”, szédülést és irracionális kognitív döntéseket eredményez pontosan abban az ezredmásodpercben, amikor a legélesebb mentális fókuszra lenne szükség.

A vezető nemzetközi szervezetek – köztük a WHO munkahelyi mentálhigiénés elvei, az ENSZ (UNMAS) szigorú IMAS 10.40 aknamentesítő egészségügyi szabványa, valamint a NATO STANAG 2564 és 2565 orvosi doktrínái – mára egyöntetűen megerősítik az alapvető paradigmaváltás szükségességét: a fegyveres és humanitárius szervezetek a

⁸ CSF2 (Comprehensive Soldier and Family Fitness) egy átfogó amerikai haderőprogram, amelynek célja a katonák, családtagjaik és a hadsereg civil alkalmazottainak rezilienciájának és teljesítményének fejlesztése. A program több elemből áll, például a Global Assessment Tool (GAT), az egyéni fejlesztő modulok, a teljesítményfejlesztés és a reziliencia képzés.

⁹ MRT (Master Resilience Training) a CSF2 egyik központi képzési eleme. Az MRT egy intenzív, „train-the-trainer” rendszerű képzés, amely során kijelölt katonákat, családtagokat vagy civil alkalmazottakat képeznek ki arra, hogy saját alegységükben rezilienciafejlesztő képzéseket tartsanak. A program a pozitív pszichológia eredményeire épül, és olyan készségeket fejleszt, mint az önszabályozás, az optimizmus, a mentális rugalmasság, a karaktererőségek és a kapcsolati készségek.

¹⁰ Az Egyesült Államok Hadseregének Comprehensive Soldier and Family Fitness (CSF2) programja átfogó rezilienciafejlesztő rendszerként működik, amelynek egyik legfontosabb eleme a Master Resilience Training (MRT) képzés. Az MRT célja olyan kiképzett rezilienciatrénerek felkészítése, akik saját szervezeti egységükben adják át a pozitív pszichológián alapuló megküzdési és teljesítményfokozó készségeket a katonáknak és más állománycsoportoknak.

továbbiakban nem háríthatják a stresszfeldolgozás felelősségét csupán az operátor egyéni megküzdési (*coping*) képességeire. A mentális jólét, a poszttraumás prevenció és a kognitív hadrafoghatóság fenntartása immáron szervezeti, parancsnoki és stratégiai felelősség.

A nemzetközi tudományos szakirodalom, valamint az USA, az Egyesült Királyság és a magyar (MH) rendszerek összehasonlító elemzése világosan kijelöli azokat a kritikus fejlesztési vektorokat, amelyeket a hazai és a globális EOD-szervezeteknek implementálniuk kell:

- *Specifikus EOD alkalmassági profilozás bevezetése*: Reflektálva a hazai (Andó Sándor-féle) kutatási kritikákra, az általános, széles munkakörcsaládokra fókuszáló katonai alkalmassági vizsgákat sürgősen ki kell egészíteni egy specifikus, dedikáltan az EOD munkakör egyedi kognitív, érzelemszabályozási és térbeli-tájékozódási követelményeire szabott szűrési mátrixszal.
- *Peer Support rendszerek (pl. TRiM) intézményesítése*: A brit Trauma Risk Management modell adaptációja rendszerszintű ugrást jelentene a prevencióban. A pszichológiai stigmát csak úgy lehet áttörni a hierarchikus, maskulin rendvédelmi kultúrában, ha a korai kockázatértékelést nem kívülálló klinikusok, hanem speciális 10 pontos rendszerekre kiképzett, a műveleti realitást értő saját bajtársak (peer practitioners) végzik el az incidenst követő 72 órán belül.
- *Kognitív tréning és a reziliencia építése (Hardiness Training)*: Az amerikai Navy EOD-alakulatok tapasztalatai egyértelműen bizonyítják, hogy a kognitív állóképesség tanítható. Az érzelemszabályozást, a precíz célkitűzést és a kognitív átkeretezést az elit sportolók felkészítéséhez hasonlóan a napi kiképzés kötelező részévé kell tenni (pl. a CSF2- vagy MRT-programok elemeinek átemelésével).
- *Ergonómiai és műszaki innováció a PPE-rendszerekben*: Folytatni kell a kutatás-fejlesztést a védőruházatok okozta teher minimalizálására. A teherviselő exoskeletonok (külső vázak), a valós idejű életjel-monitorozó szenzorok és az aktív (*liquid-cooling*) hűtőrendszerek alkalmazása elengedhetetlen a termoregulációs zavar okozta kognitív halálspirál elkerüléséhez.
- *Holisztikus, traumainformált debriefing protokollok*: Minden kritikus incidenst követően – az IMAS 10.40 szabvány szellemében – garantálni kell egy önkéntes alapú, szakszerűen facilitált, a másodlagos traumatizációt elkerülő CISM/CISD-folyamatot, amelyet kötelező jelleggel hónapokon átívelő, longitudinális pszichológiai monitorozás követ.

Ezen rendszerszintű, proaktív stratégiák szinergikus integrálásával a tűzszerész szervezetek nem pusztán az állományt emésztő pszichoszociális kockázatokat, az elvándorlást és a krónikus stressz okozta megbetegedéseket képesek minimalizálni, hanem soha nem látott mértékben optimalizálhatják a műveleti hatékonyságot is az emberi teljesítőképesség és a túlélés legvégső határán.

HIVATKOZOTT IRODALOM JEGYZÉKE

- [1] Centers for Disease Control and Prevention (CDC) – National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) (2026): *Psychosocial Hazards*. Forrás: <https://www.cdc.gov/niosh/learning/safetyculturehc/module-2/8.html> (Letöltés: 2026. 04. 12.)

- [2] McFarlane Alexander C. (2010): The Long-Term Costs of Traumatic Stress: Intertwined Physical and Psychological Consequences. *World Psychiatry*, 9.(1). pp. 3–10. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.2051-5545.2010.tb00254.x>.
- [3] Böckelmann Irina – Thielmann Beatrice – Schumann Heiko (2022): *Mental and Physical Stress in the Emergency Medical Services: Association of Work-Related Behavior and the Consequences of Stress*. *Notfall + Rettungsmedizin*, 25. pp. 471–482. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10049-022-01056-9>
- [4] United Nations Mine Action Service (UNMAS) (2020): *International Mine Action Standards (IMAS) 10.40: Medical Support to Demining Operations*. 2nd ed. New York: United Nations Mine Action Service. Forrás: <https://www.mineactionstandards.org/standards/10-40/> (Letöltés: 2026. 04. 12.)
- [5] U.S. Department of Veterans Affairs – National Center for PTSD (2025): *Resilience and Risk Factors After Disaster Events*. Forrás: https://www.ptsd.va.gov/disaster_events/for_providers/resilience_risk_factors.asp (Letöltés: 2026. 04. 12.)
- [6] NATO Standardization Office (2019): *Allied Medical Publication AMedP-8.6, Edition B, Version 1: Forward Mental Healthcare* (STANAG 2564). Brussels: NATO Standardization Office. Online: https://www.coemed.org/files/stanags/03_AMEDP/AMedP-8.6_EDB_V1_E_2564.pdf (Letöltés: 2026. 04. 12.)
- [7] García Silgo Mónica (2013): Revisión de programas de resiliencia basados en la evidencia en los ejércitos [A review of evidence-based resilience programs in the Army]. *Sanidad Militar*, 69.(3). pp. 182–194. DOI: <https://doi.org/10.4321/S1887-85712013000300005>
- [8] Stewart Ian B. – Stewart Kelly L. – Worringham Charles J. – Costello Joseph T. (2014): *Physiological Tolerance Times while Wearing Explosive Ordnance Disposal Protective Clothing in Simulated Environmental Extremes*. *PLoS ONE*. 9.(2). e83740. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0083740>
- [9] Daruka Norbert (2010): Az EOD-9 védőfelszerelés alkalmazhatósága a hazai és a nemzetközi tűzszerész feladatok ellátása során. In: Poroszlai, Akos; Poroszlai, Gabor; Petrak, Zoltan (szerk.) *New Challenges in the Field of Military Sciences 2010: 7th international conference*. 28-30 September, 2010, Budapest, Bolyai János Honvéd Alapítvány 500 p. pp. 1–13.
- [10] Geneva Technologies Inc. (2021): *Evaluating the Effectiveness of EOD Bomb Suits as Countermeasures to Blast Trauma*. Forrás: <https://genevausa.org/news/story/evaluating-the-effectiveness-of-explosive-ordnance-disposal-bomb-suits-as-countermeasures-to-blast-trauma/> (Letöltés: 2026. 04. 14.)
- [11] U.S. Department of Defense (2001): *The Bomb Suit's Always Been a Matter of Trust*. DVIDS (Defense Visual Information Distribution Service). Forrás: <https://www.dvidshub.net/news/525629/bomb-suits-always-been-matter-trust> (Letöltés: 2026. 04. 14.)
- [12] Costello Joseph T. – Stewart Kelly L. – Stewart Ian B. (2015): Inside the 'Hurt Locker': The Combined Effects of Explosive Ordnance Disposal and Chemical Protective Clothing on Physiological Tolerance Time in Extreme Environments. *Annals of Occupational Hygiene*, 59.(7). pp. 922–931. DOI: <https://doi.org/10.1093/annhyg/mev029>
- [13] Lea, Martin (é. n.): *Psychological Effects of Wearing Protective Clothing in Disaster*. Forrás: <https://martinlea.com/psychological-effects-of-wearing-protective-clothing-in-disaster/> (Letöltés: 2026. 04. 14.)
- [14] Kemp John – Brusey James – Thake Charles Douglas – Gaura Elena I. (2011): Embedded Sensing and Actuation for Helmets CO₂ Levels Control. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, 4.(1). pp. 160–185. DOI: <https://doi.org/10.21307/ijssis-2017-432>
- [15] United Nations (é. n.): *Mental Health and Wellbeing*. New York: United Nations. Forrás: <https://www.un.org/en/global-issues/mental-health> (Letöltés: 2026. 04. 14.)
- [16] World Health Organization (2022): *WHO Guidelines on Mental Health at Work*. Geneva: World Health Organization. ISBN: 978-92-4-005305-2. Forrás: <https://www.who.int/publications/item/9789240053052> (Letöltés: 2026. 04. 14.)

- [17] United Nations Mine Action Service (UNMAS) (2023): *Technical Note for Mine Action (TNMA) 07.50/01: Practical Guidelines on the Management of Human Remains in Mine Action*. 2nd ed. New York: United Nations Mine Action Service. Forrás: <https://www.mineactionstandards.org/standards/07-50-01/> (Letöltés: 2026. 04. 14.)
- [18] NATO Standardization Office (2020): *STANAG 2143, Edition 7 – Explosive Ordnance Disposal (EOD) Principles and Minimum Standards of Proficiency (AEODP-10, Edition C)*. Brussels: NATO Standardization Office. Forrás: <https://www.eodcoe.org/files/en/standardization/concept-doctrine-standardization/doctrines/click3-eod-publications-overview-pcs/click3-click4-click5-eod-stanags-overview-jun-17.pdf> (Letöltés: 2026. 04. 14.)
- [19] Taylor Marcus K. – Rolo Cristina – Stump Jeremiah – Mayo Justin – Hernández Lisa M. – Gould Daniel R. (2019): Psychological Strategies During Military Training Are Linked to Resilience in US Navy Explosive Ordnance Disposal Operators. *Journal of Special Operations Medicine*, 19.(1). pp 61–65. DOI: <https://doi.org/10.55460/JAEQ-3MJZ>
- [20] McInerney Sarah A. – Waldrep Edward – Benight Charles C. (2022): Resilience Enhancing Programs in the U.S. Military: An Exploration of Theory and Applied Practice. *Military Psychology*, 36.(3). pp. 241–252. DOI: <https://doi.org/10.1080/08995605.2022.2086418>
- [21] Barrow Tyrone D. (2024): A Resilient State of Mind. *NCO Journal* (Army University Press), 2024. július 26. Online: <https://www.armyupress.army.mil/Journals/NCO-Journal/Archives/2024/July/A-Resilient-State-of-Mind/> (Letöltés: 2026. 04. 17.)
- [22] Perrot, Didier (é. n.): *Stress opérationnel chez le Sapeur-pompier : Identification, facteurs, risques et traitements*. Paris: Plateforme Nationale Recherche et Stratégie (PNRS) – École Nationale Supérieure des Officiers de Sapeurs-Pompiers (ENSOSP). Forrás: <https://pnrs.ensosp.fr/digitalCollection/DigitalCollectionAttachmentDownloadHandler.ashx?parentDocumentId=20347&documentId=94919&skipWatermark=true&skipCopyright=true> (Letöltés: 2026. 04. 17.)
- [23] Andó Sándor (2024): *A Magyar Honvédség 1990. utáni katonapszichológiai szaktevékenységének elemző értékelése*. Doktori (PhD) értekezés. Budapest: Nemzeti Közszerzői Egyetem, Hadtudományi Doktori Iskola. Forrás: https://hdi.uni-nke.hu/document/hdi-uni-nke-hu/0.%20%C3%89rtekez%C3%A9s_And%C3%B3S%C3%A1ndor.pdf (Letöltés: 2026. 04. 17.)
- [24] King's College London (2015): *Peer Support to Overcome Trauma*. London: King's College London. Forrás: <https://www.kcl.ac.uk/news/spotlight/peer-support-to-overcome-trauma> (Letöltés: 2026. 04. 17.)
- [25] Ministry of Defence (2021): *Information Regarding LFSO 3217 and LFSO 3218*. Freedom of Information (FOI) Response, Ref: Army/Sec/FOI05462/W/M. London: Ministry of Defence. Forrás: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/618e58fcd3bf7f05545e111f/20210609-FOI_05462_redacted_final_Redacted.pdf (Letöltés: 2026. 04. 17.)
- [26] Greenberg Neil – Wignall Marilyn (2012): *An Organizational Approach to the Management of Potential Traumatic Events: Trauma Risk Management (TRiM) – the Development of a Peer Support Process from the Royal Navy to the Police and Emergency Services*. In: Friedman, Merle – van Wyk, Gerrit (eds.): *International Handbook of Workplace Trauma Support*. Chichester: John Wiley & Sons. pp. 181–198. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119943242.ch12>
- [27] Greenberg Neil – Langston Victoria – Iversen Amy C. – Wessely Simon (2011): The Acceptability of Trauma Risk Management within the UK Armed Forces. *Occupational Medicine*, 61.(3). pp. 184–189. DOI: <https://doi.org/10.1093/occmed/kqr022>
- [28] Jones Norman – Burdett Howard – Green Kevin – Greenberg Neil (2017): Trauma Risk Management (TRiM): Promoting Help Seeking for Mental Health Problems Among Combat-Exposed U.K. Military Personnel. *Psychiatry: Interpersonal and Biological Processes*, 80.(3). pp. 236–251. DOI: <https://doi.org/10.1080/00332747.2017.1286894>

- [29] Mitchell Jeffrey T. (é. n.): *Critical Incident Stress Debriefing (CISD)*. U.S. Army Corps of Engineers – Critical Incident Stress Management (CISM) Program. Forrás: <https://corpslakes.ercd.dren.mil/employees/cism/pdfs/Debriefing.pdf> (Letöltés: 2026. 04. 17.)
- [30] Office for Victims of Crime (OVC) (2003): *Critical Incident Stress Debriefing (CISD): Efficacy in Question*. Washington, DC: Office for Victims of Crime, U.S. Department of Justice. Forrás: https://ovc.ojp.gov/sites/g/files/xyckuh226/files/media/document/ci_lr_cisd_efficacy_in_question-508.pdf (Letöltés: 2026. 04. 17.)
- [31] Oklahoma Department of Civil Emergency Management (1996): *After Action Report: Alfred P. Murrah Federal Building Bombing, 19 April 1995 in Oklahoma City, Oklahoma*. Oklahoma City, OK: Oklahoma Department of Civil Emergency Management. Forrás: <https://oklahoma.gov/content/dam/ok/en/oem/documents/bombing-after-action-report.pdf> (Letöltés: 2026. 04. 17.)
- [32] Military Operational Medicine Research Program (MOMRP) (é. n.): *Psychological Health, PTSD and Resilience*. Fort Detrick, MD: U.S. Army Medical Research and Development Command, Military Operational Medicine Research Program. Forrás: <https://momrp.health.mil/overview/psychological/> (Letöltés: 2026. 04. 17.)

THE CHALLENGES OF DECENTRALISED PRODUCTION OF CHARGE COMPONENTS IN A WARTIME ENVIRONMENT

TÖLTETALKATRÉSZEK DECENTRALIZÁLT GYÁRTÁSÁNAK KIHÍVÁSAI HÁBORÚS KÖRNYEZETBEN

István EMBER (PhD)¹

ABSTRACT

This study examines the military applicability of decentralised manufacturing in the context of explosive charge components. Due to the enemy's precision strikes, the geographical dispersal of military infrastructure has become a critical factor; this has become a prerequisite for survivability. Through an analytical examination of digital warehouses and modern virtual solutions, the paper interprets the industry's current challenges and processes. The research demonstrates the application of additive manufacturing in a decentralised environment and, finally, makes recommendations for mitigating the risks associated with limited quality assurance on the battlefield.

Keywords: decentralised manufacturing, additive manufacturing, blasting technology, charge.

ÖSSZEFOGLALÓ

A tanulmány a decentralizált gyártás katonai alkalmazhatóságát vizsgálja robbantástechnikai alkatrészek esetében. Az ellenség precíziós csapásai miatt a katonai infrastruktúra földrajzi széttagolása kritikus elemmé vált, ez lett túlélőképesség feltétele. Az írásmű a digitális raktárak és modern virtuális megoldások elemző vizsgálatával értelmezi az ipar jelenlegi kihívásait és folyamatait. A kutatás bemutatja az additív gyártás decentralizált környezetben való alkalmazását és végül javaslatot tesz a korlátozott harctéri minőségbiztosítás kockázatainak csökkentésére.

Kulcsszavak: decentralizált gyártás, additív gyártás, robbantástechnika, töltet.

INTRODUCTION

The use of disruptive technologies in military contexts is by no means unusual. Additive manufacturing, for example, is already widespread in most armed forces, whilst the military application of artificial intelligence (hereinafter: AI) [1] is also gaining ground, and autonomous systems [2] are beginning to permeate the battlefield.

These modern solutions are valuable in their own right, but when implemented as part of a system, they are capable of having a truly significant impact. It is essential to examine the sustainability issues associated with the above systems – particularly digital

¹ Assistant professor, Ludovika University of Public Service, Faculty of Military Science and Officer Training, Combat Support Department; Industrial explosive engineer. E-mail: Ember.Istvan@uni-nke.hu, ORCID: 0000-0002-9877-0366.

„This paper was supported by the János Bolyai Research Scholarship of the Hungarian Academy of Sciences.”

ones – because environmental changes pose significant challenges even for a military force. [3][4] However, on the other side of the coin for every such issue is the question of whether the finished system will be efficient and environmentally friendly, thanks to the resources saved in its physical implementation.

There is still considerable scope for development in military explosives technology, particularly when considering the application of these advanced technologies; however, it has been demonstrated on several occasions that additive manufacturing is a process particularly well-suited to the production of explosive charge components. [5][6] For the time being, this is not yet feasible for explosives in an operational context, but it may become possible in the future to produce fully segmented explosive charges with different explosive properties, or unencased, extruded-shape charges, using this technology. This could provide a solution to certain future tactical challenges, [7] and we could develop new solutions using high-explosive materials [8][9] to destroy the remnants of widespread improvised explosive devices, [10] and even more so the remnants of the unique offensive weapons used in the Russia-Ukraine conflict.

However, alongside the challenges of the future, we must also find a place for this task within the existing structures of today. The aim of this study is to define the key guidelines required for the decentralised production of certain explosive charge components in a wartime manufacturing environment.

DECENTRALISED MANUFACTURING

Decentralised manufacturing is one of the key areas of focus and research in contemporary industrial studies. It shifts production processes away from traditional, high-capacity factories geared towards mass production towards geographically dispersed, smaller-scale industrial facilities. This transformation is driven by changing consumer demands, end-user requirements that differ from standardised ones, and advances in information and communication technologies. A central element of the model is that it brings manufacturing functions physically closer to end users, achieving this through a networked manufacturing system. [11][12]

One of the greatest advantages of decentralisation is its outstanding flexibility, which leads to a significant reduction in market response times, and improved sustainability, which is one of the greatest challenges of our time. As production takes place at or near the point of demand and end-use, transport and logistics costs are significantly reduced, as are the associated carbon dioxide emissions. Such a system effectively supports local economies and promotes a more optimal regional use of resources. This is a very promising approach in the case of additive manufacturing technologies, but it also holds great potential in the pharmaceutical industry and in the field of battery recycling. [13][14]

The structure therefore offers significant advantages, but such a system requires a more carefully thought-out management and control system. Geographical fragmentation presents challenges, and it can be said that managing system-level uncertainties, the issue of access to standardised product data, and the standardisation of quality control are critical problems. Furthermore, in the case of small-scale farms, economic disadvantages

arising from their size may also arise. These challenges, difficulties and disadvantages are the reasons why such structures must be treated as so-called cyber-physical systems (hereinafter: CPPS), and, depending on their complexity and structure, the use of cloud-based architectures, advanced digital twins (hereinafter: DT) and blockchain technology may become necessary to ensure their reliable operation. [11][12]

Blockchain technology serves as the digital infrastructure for data management and trust-building within decentralised manufacturing systems. Blockchain is a type of distributed ledger technology (hereinafter: DLT) that enables network participants to access data securely. All this is achieved without intermediaries, with rights to record and share data. In manufacturing networks, the technology helps to move away from centralised control and ensures that the manufacturing units, suppliers and designers connected to the system operate using identical, real-time information, whilst the digitally stored information remains secure. [15]

The greatest value of this technology lies in the fact that it makes supply chains traceable. It also plays another important role: the protection of intellectual property (hereinafter: IP). On a well-designed blockchain, the data entered becomes traceable; the system is able to verify the origin of raw materials, the completion of manufacturing steps and the results of quality control. In addition, the blockchain is able to log who accessed the recorded digital design file, when and how many times. This is particularly important in additive manufacturing, as the protection of design files is a key issue; however, the system greatly assists with these tasks. [16]

An important element of network automation is the emergence of smart contracts, which are programmes that are executed automatically without external intervention once the necessary conditions are met; however, this requires sensors, known as oracles. In decentralised manufacturing, these solutions can automate payments following quality assurance checks, which significantly increases the efficiency of inventory management and logistics processes. However, these transactions are still in their infancy in terms of scalability. Nor should the security risks arising from the data link between the physical world and the digital chain be overlooked. [17][18]

To increase the efficiency and flexibility of manufacturing, the components of digital twin platforms are: a physical twin, a virtual twin, and the cyber-physical data link connecting them. The physical twin is the production line equipped with sensors; the virtual twin contains models and descriptions of physical properties; whilst synchronisation is ensured by continuous, bidirectional data exchange in real time. [19]

Another approach to the digital twin is linked to the product itself, as an entity or virtual information structure that optimises and ensures operation, providing a complete description of the manufactured product down to every detail. The concept is based on a continuous, two-way exchange of data and information between the physical manufacturing system and the virtual interface throughout the entire process. This is ensured by a closed-loop architecture, allowing changes to both models and products to be tracked in real time. [20]

In an advanced manufacturing system, a digital twin is a software solution that optimises complex industrial processes by creating virtual representations and simulations of physical systems, thereby ensuring their dynamic operation. As part of Industry 4.0, the Internet of Things (hereinafter: IoT), big data analytics and various cloud-based solutions

enable advanced monitoring and control functions. In the operation of production lines, this technology is not only crucial for continuous, real-time monitoring but also plays a key role in predictive maintenance. [21]

WAR CONDITIONS AND DECENTRALISED PRODUCTION

Decentralised production, in the general sense, takes on a new context in a wartime situation. The significance and role of decentralisation change. The driving force is not the location of end-users, but rather the enemy's deep-strike attacks, against which even the most effective defence systems cannot provide complete security. This means that, technically speaking, no single defence industry centre is completely secure; for this very reason, decentralisation prevents the destruction of an entire manufacturing infrastructure by a single attack.

On the other hand, a new method of defence industry financing, which cannot be described as conventional, has also emerged. Market players, or even non-profit organisations, are using crowdfunding to finance the production of military equipment. This also means that a voluntary branch of the defence industry has emerged, which the Russia-Ukraine conflict has brought to the fore in a particularly significant way.

Defence industry manufacturing funded through crowdfunding is surprisingly effective. Wild Hornets is an outstanding example of the effective use of donations and community support. This Ukrainian company uses additive manufacturing to produce drones for the Ukrainian armed forces. These include, amongst others, First-Person View (hereinafter: FPV) drones capable of carrying various weapons and drone-hunting Unmanned Aerial Vehicles (hereinafter: UAV), 65% of which they manufacture themselves. According to their own statistics (which have not been corroborated by other sources), Ukrainian forces have destroyed 7,890 drones, 151 tanks, 613 vehicles, 448 UAVs, 220 armoured vehicles, 122 artillery or Multiple Launch Rocket System (hereinafter: MLRS) units, 4 air defence units and 818 soldiers. Together, this has caused losses of 1.69 billion USD to the Russian Federation. [22][23]

DIGITAL WAREHOUSING

In digital warehousing, product information is entered into a structured data storage system. These systems are designed to store, manage, organise and search through large volumes of product data. Whilst they may simply be information interfaces, as a digital component of decentralised manufacturing, they can also serve as dynamic platforms for the flow of information, knowledge sharing, learning and collaboration. Such digital platforms are most effective when they provide users with online access. This solution can offer numerous benefits for the manufacture of end products. [24]

We should highlight a few key benefits: [24]

- Digital warehouses are capable of storing and managing vast amounts of information for manufacturing, assembly and operations alike.

- The online system is available to users at any time, without any geographical restrictions, provided they have the appropriate technical equipment and suitable network access.
- In addition to drawings, models and electronic documentation, digital databases may also contain interactive content and other multimedia elements.
- The search and filter functions enable you to find the data you need quickly and efficiently.
- Their content can be easily updated, amended and maintained, ensuring that users always have access to up-to-date data and information.

Thanks to the advantages listed above, a digital platform provides a faster, more efficient, more flexible and more convenient way of accessing information online, replacing traditional methods. Although databases may be subject to security risks, they have nevertheless proven their worth in manufacturing sectors. [24]

In order to ensure that the conditions for additive manufacturing are met within an organisational structure, those operating the technical equipment (technicians, engineers) must have access to the relevant digital files. Such a platform ensures that staff do not need specialist design expertise; instead, a thorough understanding of the manufacturing equipment and a high level of proficiency in its operation are sufficient to produce products of the required quality. There are currently numerous open-access websites from which models suitable for additive manufacturing, or even print files, can be downloaded free of charge or for a fee. The main drawback of using these is that it is not possible to adequately verify that the components have been professionally designed or that the ideal material has been selected. [24]

As a topical practical insight into the current conflict, it is worth noting that, according to a statement by the Ukrainian authorities, they already have a digital repository containing the digital documentation for more than 170 components designed exclusively in Ukraine, and they plan to expand this continuously in the future. The online platform not only provides access for personnel but also offers manufacturing services, a significant proportion of which are additive manufacturing solutions. This platform is ideally suited to connecting players in the defence industry and helps to reduce dependence on supply chains. Only Ukrainian manufacturers who have been pre-vetted may upload their documentation and access designs produced by others. Currently, a large number of antennas, drone frames, propellers and specialised modules are available on the platform. A major advantage is that it provides access to a range of different services. These capabilities ensure that manufacturers can respond to emerging needs with advanced solutions, even under wartime conditions. [25]

ADDITIVE MANUFACTURING AND BLASTING TECHNOLOGY

In light of the above, it stands to reason that we should examine the possibilities for manufacturing explosive components within the aforementioned system, in a digital environment. There are now countless variants and methods of additive manufacturing available, and we can even utilise so-called smart materials. [26] Some of these can even

be obtained for hobbyist purposes, but there are also particularly expensive processes which represent a profitable investment only for industrial or state-sector players. The latter are mainly found in the fields of metal printing and the printing of materials with special properties. Whilst these could be of great significance for military applications in the field under investigation, experience to date in explosive technology suggests that simple polymer raw materials (Polylactic Acid, Acrylonitrile Butadiene Styrene, Acrylonitrile Styrene Acrylate, polyethylene terephthalate glycol) and certain printable metals, such as copper, for example using Atomic Diffusion Additive Manufacturing (hereinafter: ADAM) [27] technology. These materials may meet the requirements, although not all of them are sufficiently resistant to the corrosive effects of explosives. However, the specific circumstances, the manufacturing process, the intermittent contact (these are not necessarily loaded into the devices immediately; in most cases, this is done only at the point of use, prior to application) and the short, single-use life cycle allow for many compromises.

In the case of charges, it is possible to manufacture components (casings, liners, supports, fasteners and caps etc.) in an additive manner for both plastic and liquid explosives. This suggests that it is particularly worthwhile to investigate shaped charges requiring special forms, as well as shaped [28] and cutting charges in this field, for which the manufacture of components is feasible. In the case of liner bodies, high-density metals may be good options, but in certain cases, for explosive ordnance disposal tasks, components made purely from polymers may also be suitable.

Quality control is a key element in decentralised manufacturing; in this case, as end-use results in permanent destruction, it is difficult to trace any defects. On the other hand, in many cases, quality control is only possible to a limited extent if production takes place in or near the operational area. To this end, it is worth bearing the following in mind:

- it may be necessary to oversize individual components so that, even in the event of manufacturing tolerances, they can safely meet the performance requirements;
- simple, readily available raw materials must be selected, which the nation or even the armed forces are capable of producing themselves;
- components must be designed specifically for a given additive manufacturing technology – or even for several such technologies – so that they can be produced as quickly as possible using the minimum amount of raw material;
- where possible, the number of different types of equipment used in the production structure should be reduced, as this can pose a challenge for operators (particularly at a given production site), and it is possible that different types of equipment will produce goods of varying quality;
- the simplest quality assurance measures, where no industrial solution is available, are weight measurement (essential for all components, but particularly for liner bodies), checking key dimensions (e.g. mating surfaces) and surface inspection; which, taken together, can ensure that the various filling components operate within the appropriate tolerance range;
- there is no satisfactory monitoring solution for raw materials; this can best be addressed by controlling the number and range of manufacturers, whilst relying on their own quality assurance systems.

These factors – though by no means an exhaustive list – are the most important ones to ensure that the design drawings and documentation for the components entering the digital warehouse are translated into products of the appropriate quality within the decentralised manufacturing process, in a wartime environment.

SUMMARY

Decentralised manufacturing processes provide a modern and secure framework for the production of various products. In a wartime environment, however, these processes become more complex, and new variants may emerge, such as structures designed to ensure the self-sufficiency of the armed forces.

The manufacture of explosive components remains necessary even under such circumstances; whilst quality control may suffer in this context, it is possible to ensure adequate quality through forward-planning, a narrowed product range and equipment capable of additive manufacturing, even with personnel lacking specialist expertise.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Fazekas F. (2023): Mission Command and Artificial Intelligence. *Land Forces Academy Review*. 28.(2). pp. 69–79. DOI: <https://doi.org/10.2478/raft-2023-0010>
- [2] Tóth J. L. – Vég R. L. (2022): Az autonóm terepjáró eszközök. *Műszaki Katonai Közlöny*, 23.(2). pp. 107–116. DOI: <https://doi.org/10.32562/mkk.2022.2.8>
- [3] Padányi J. (2022): *Kockázatok, kihívások, válaszok*. Budapest: Ludovika. ISBN 978-963-531-813-1
- [4] Padányi J. (2024): *The Effects of Climate Change on the Military: Risks, Challenges and Answers*. Budapest: Ludovika. DOI: <https://doi.org/10.36250/01185>
- [5] Ember I. (2022): Hatásvizsgálati robbantás kumulatív töltetekkel. *Műszaki Katonai Közlöny*. 32.(3). pp. 13–23. Forrás: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/mkk/article/view/6216>
- [6] Ember I. (2022): Modern kumulatív töltetek hatékonyságának vizsgálata. *Haditechnika*. 56.(6). pp. 15–20. DOI: <https://doi.org/10.23713/HT.56.6.03>
- [7] Daruka N. (2018): *A jövő háborúi az improvizált robbanószerkezetek alkalmazásának tekintetében*. Sereg Szemle. 16.(2). pp. 07–22. Forrás: https://honvedelem.hu/files/files/115177/seregszemle_2018_2.pdf
- [8] Lukács L. (2017): *Szemelvények a magyar robbantástechnika fejlődéstörténetéből, Különös tekintettel a továbbfejlesztés várható irányaira és a kor új kihívásaira*. Dialóg Campus Kiadó, Budapest.
- [9] Daruka N. (2016): *Robbanóanyag-ipari alapanyagok és termékek osztályozásának lehetőségei*. *Műszaki Katonai Közlöny*. 26.(1). pp. 26–44. Forrás: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/mkk/article/view/2187/1456>
- [10] Kovács Z. (2012): Az improvizált robbanóeszközök főbb típusai. *Műszaki Katonai Közlöny*. 22.(2). pp. 37–52. Forrás: https://mkk.uni-nke.hu/document/mkk-uni-nke-hu/2012_2_03%20IED-k%20f%C5%91bb%20t%C3%ADpusai%20-%20Kov%C3%A1cs%20Z.pdf
- [11] Mourtzis D. – Doukas M. (2012): *Decentralized Manufacturing Systems Review: Challenges and Outlook*. In Katja Windt (edt.). *Robust Manufacturing Control Innovative and Interdisciplinary Approaches for Global Networks*. Proceedings of the CIRP Sponsored Conference RoMaC. Springer, Bremen, Forrás: <https://www.mdpi.com/2079-8954/14/5/469#metrics>

- [12] Dogancic B. et al. (2026): Decentralised Manufacturing as a Networked Cyber–Physical System: Formalising Free and Open-Source Software Governance and ML Adaptation for Distributed Robustness. *Systems*. 14.(5). p. 469. DOI: <https://doi.org/10.3390/systems14050469>
- [13] Katsigiannis M. et al. (2024): Empowering decentralized production: A distributed manufacturing system for additive manufacturing processes. *Manufacturing Letters*, 41. pp. 1507–1514. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2024.09.177>
- [14] Kantaros A. et al. (2025): The Role of 3D Printing in Advancing Automated Manufacturing Systems: Opportunities and Challenges. *Automation*. 6.(2). p. 21. DOI: <https://doi.org/10.3390/automation6020021>
- [15] Hariyani D. et al. (2025): A literature review on transformative impacts of blockchain technology on manufacturing management and industrial engineering practices. *Green Technologies and Sustainability*. 3.(3). 100169. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.grets.2025.100169>
- [16] Zareiyan B. – Korjani M. (2018): Blockchain Technology for Global Decentralized Manufacturing: Challenges and Solutions for Supply Chain in Fourth Industrial Revolution. *International Journal of Advanced Robotics and Automation*. 3.(2). pp. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.15226/2473-3032/3/2/00135>
- [17] Lohmer J. – Lasch R. (2020): Blockchain in operations management and manufacturing: Potential and barriers. *Computers & Industrial Engineering*. 149. 106789. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106789>
- [18] Guo X. – Zhang G. – Zhang Y. (2023): A Comprehensive Review of Blockchain Technology-Enabled Smart Manufacturing: A Framework, Challenges and Future Research Directions. *Sensors*. 23.(1). 155. DOI: <https://doi.org/10.3390/s23010155>
- [19] Gunaratne M. – Georgakopoulos D. – Banerjee A. (2026): A Digital Twins Platform for Digital Manufacturing. *Electronics*. 15.(3). p. 583. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics15030583>
- [20] Grieves. M. – Vickers J. (w. y.): *Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems*. (w. d.) DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26367.61609>
- [21] Florescu A. (2024): Digital Twin for Flexible Manufacturing Systems and Optimization Through Simulation: A Case Study. *Machines*. 12.(11). p. 785. DOI: <https://doi.org/10.3390/machines12110785>
- [22] Tyrer-Jones A. (2025): *Ukraine Deploys 3D Printed Drones to Combat Russian Shahed Swarms*. Forrás: <https://3dprintingindustry.com/news/ukraine-deploys-3d-printed-drones-to-combat-russian-shahed-swarms-242362/>
- [23] Wild Hornets (w. y.): *Who we are*. Forrás: <https://wildhornets.com/en/who-we-are>
- [24] Daruka N. et al. (2024): Digitális adatbázis létrehozásának lehetőségei a magyar honvédségben a 3D nyomtatási képesség támogatására. *Honvédségi Szemle*. 152.(4). pp. 72–81. Forrás: <http://hdl.handle.net/20.500.12944/27313>
- [25] K. Joseph (2025): *Ukraine Integrates 3D Printing into Secure Military Supply Platform*. Forrás: <https://www.3dnatives.com/en/ukraine-integrates-3d-printing-into-secure-military-supply-platform-07102025/>
- [26] Vég R. L. (2023). A 4D nyomtatás és az okosanyagok alkalmazásának lehetőségei. *Műszaki Katonai Közlöny*. 33.(4). pp. 77–89. DOI: <https://doi.org/10.32562/mkk.2023.4.6>
- [27] Hegedűs E. (2024): ADAM technológiájú 3D-s fémnyomtatás II. rész. *Haditechnika*. 53.(3). pp. 45–50.
- [28] Kugyela L. (2019): Experiments with Small Size Shaped Charges. *Hadmérnök*. 14.(2). pp. 99–110. DOI: <https://doi.org/10.32567/hm.2019.2.8>

BLAST PROTECTION OF STRATEGIC AND CRITICAL INFRASTRUCTURE FACILITIES BASED ON CYBER-OPERATIONAL CONTINUITY

STRATÉGIAI OBJEKTUMOK ÉS KRITIKUS INFRASTRUKTÚRÁK ROBBANÁSVÉDELME A KIBERMŰKÖDÉSI FOLYTONOSSÁG ELVE ALAPJÁN

Zoltán NYIKES (PhD)¹

ABSTRACT

The paper presents a blast protection model for strategic facilities and critical infrastructure, with cyber-operational continuity placed at the centre of the design process. Its main argument is that real protection cannot be measured only by whether the building or structure remains standing. It should also consider whether the system can keep its essential functions running, maintain communication, protect data integrity, and support control activities during and after the most demanding credible blast scenarios. The model brings together three elements: the blast load ($B(t)$), the remaining continuity of the system ($s(t)$), and the selected protection and cybersecurity configuration (C). It is used to identify which configuration can keep the system functioning at the highest possible level under credible blast scenarios. The proposed blast-activated cybersecurity mode uses the measured effects of the blast, such as overpressure, impulse, heat, debris and vibration, to trigger the necessary cyber response. In practice, the system would first separate the parts of the network that may have been damaged, make sure that the most important data traffic gets through, and place local controllers into a safe operating state. It would also preserve the key event records and only reconnect systems once their condition has been properly checked. The application examples, including fuel depots, electric substations, telecommunications hubs, seaports and distributed pipeline systems, show that protection cannot stop at walls and structural elements. Cabling, sensors, power feeds, control nodes, communication paths and data archives also have to be treated as assets that must be protected from the outset.

Keywords: blast protection; critical infrastructure; cyber-operational continuity; ICS/SCADA; cyber-physical resilience.

ÖSSZEGZÉS

A tanulmány a stratégiai objektumok és kritikus infrastruktúrák robbanásvédelmét kiber-domináns tervezési szemléletben értelmezi. A cikk fő eredménye, hogy a védelmi optimumot nem kizárólag a szerkezeti túlélésből, hanem a robbanási terhelés alatti és utáni kiberműködési folytonosság legrosszabb esetre vett megőrzéséből kell levezetni. A tanulmány definiálja az $s(t)$ folytonossági állapotváltozót, max-min célfüggvényt vezet be a hiteles robbanási forgatókönyvek halmazán, és a túlnyomás-impulzus profilt robbanás által aktivált kiberbiztonsági üzemmóddal kapcsolja össze. Ez az üzemmód eseményvezérelt szegmentációt, forgalmi prioritásváltást, lokális safe mode működést, integritásvédett archiválást és ellenőrzött visszakapcsolást foglal magában. A saját eredményt alkalmazási példák támasztják alá üzemanyag-tárolók, villamos állomások,

¹ Milton Friedman University, 1039 Budapest, Kelta str. 2, Hungary; Associate Professor. E-mail: nyikes.zoltan@uni-milton.hu; ORCID: 0000-0001-5654-5120.

távközlési központok, kikötők és elosztott csővezeték-infrastruktúrák esetében. A cikk következtetése szerint a kábelezést, érzékelést, vezérlési csomópontokat, energiaellátási ágakat és adatútvonalakat elsődleges robbanásvédelmi eszközként kell kezelni.

Kulcsszavak: robbanásvédelem; kritikus infrastruktúra; kiberműködési folytonosság; ICS/SCADA; kiberfizikai reziliencia.

INTRODUCTION AND RESEARCH PROBLEM

The classical optimum of blast-protection design is usually based on the relationship between loading and resistance. Stand-off distance, protective barriers, structural retrofit and energy-absorbing layers are intended to prevent blast overpressure, impulse, debris impact and thermal loading from producing unacceptable structural damage. [1] This approach remains necessary, but it is no longer sufficient for strategic facilities and critical infrastructure. [2]

The mission function of a modern facility does not depend only on the physical integrity of walls, slabs, plant rooms and equipment. [3] The operation of an electric distribution facility, a fuel depot, a transport node, a port, a telecommunications centre, a health-care facility or a defence-related site is based on power supply, communication, sensing, industrial control and data-management dependencies. [4] A facility may lose its mission function even if its main load-bearing structure remains standing. [5]

The study starts from this problem: an explosion is not only a structural damaging event, but also a potential cyber-physical incident. [6] Physical degradation may be converted into data loss, false state information, loss of supervision, communication decoupling or control uncertainty. [7] In such a situation, the optimum of blast protection cannot be measured solely by the level of local physical damage. [8]

The original contribution of the article consists of four elements. First, it formulates a cyber-dominant principle for blast-protection design. [9] Second, it introduces the cyber-operational continuity state variable $s(t)$ and a max-min objective function. [10] Third, it defines the main functions of a blast-activated cybersecurity mode. Fourth, it uses application examples to show which concrete engineering controls follow from the model. [11]

The paper does not claim that a cybersecurity response can replace blast-resistant structural design. On the contrary, the proposed approach extends the objective function of physical protection. The protected asset is not only the wall, facade or plant room, but also the power, data, control and supervisory paths required for digital operation. [12]

METHODOLOGICAL FOUNDATION

The research is conceptual and model-building in character. Its starting point is the synthesis of three scientific and engineering fields: blast-protection design, OT/ICS cybersecurity and cyber-physical resilience. The aim is not to determine universal empirical fragility curves, but to provide a design logic in which physical blast loading is directly connected to cyber-operational response logic. The methodological framework is supported by the literature on critical infrastructure resilience, mission continuity and cybersecurity governance. [13]

The first methodological step is the cyber-physical reinterpretation of blast loading. Peak overpressure, impulse, positive and negative phases, thermal effects, debris impact and vibration components do not only trigger structural response; they also act on vulnerable elements of digital infrastructure. These include cable routes, sensors, field controllers, industrial switches, edge devices, power-supply branches and supervisory communication paths. [14]

The second step is to define cyber-operational continuity as a measurable state. The article combines availability, data integrity, control capability, preservation of event data and recovery readiness into a single continuity state variable. This is necessary because a post-blast facility is not simply operational; it is often partially degraded, yet still mission-capable. [15]

The third step is the formal expression of the design decision. The proposed max-min objective function evaluates the time integral of cyber-operational continuity under the worst credible blast scenario. In this way, protection can be optimised not for the expected average event, but for the extreme state that is critical for mission preservation. [16]

The fourth step is the retrospective analysis of application examples. The article does not argue that the historical events discussed below occurred because the proposed model was absent. The purpose of the examples is to show for which facility types and through which engineering controls the cyber-dominant blast-protection logic can be interpreted. [16]

CYBER-PHYSICAL INTERPRETATION OF BLAST LOADING

The engineering description of blast effects is well established in the literature. [17] Blast loading is characterised by peak overpressure, positive-phase duration, impulse, negative phase, thermal effects, fragments, debris impact and vibration components. [18] The traditional question is how these effects lead to structural response, residual deformation, penetration, cracking or local collapse. [19]

In critical infrastructure, however, the most important operational path is often not linked to the best-designed structural element. [20] A control cabinet may be protected by a blast-resistant enclosure while its power supply and communication cable run through the same vulnerable cable tray. [21] A server room may have fire-resistant walls while redundant optical links enter through the same side of the building. [22] A substation may be able to transfer electrical load while supervisory communication becomes decoupled. [23]

OT and ICS/SCADA systems are particularly sensitive to such dependencies. NIST SP 800-82 describes OT systems as devices and systems that have a direct connection with physical processes; therefore availability, process safety, reliable timing and control capability are of particular significance. [24][25] The protection of OT networks requires a specific approach because conventional IT-security controls are only partly transferable, while communication dependencies, industrial control, protocol handling, segmentation and defence-in-depth remain decisive. [26][27]

After a blast event, the cybersecurity problem does not necessarily originate from malicious software activity. [28]

A sensor may be mechanically damaged, a cable may be partially broken, an optical fibre may be cut, the power supply may become unstable, a cabinet fixing may shift, or a grounding connection may degrade. [29] The result is nevertheless relevant from a cybersecurity perspective: availability, integrity, the credibility of the state picture and the reliability of control decisions are all affected. [30]

It follows that blast-protection zoning must be handled together with the digital dependency map. [29] The protected zone is not identical to a room or a building element. [31][32] The zone means the mission-critical path: power supply, sensor, controller, communication channel, data archive and operator state picture taken as a single cyber-physical chain. [33][34][35]

ORIGINAL RESULT: CYBER-DOMINANT BLAST-PROTECTION MODEL

The model's main innovation is that it treats cyber-operational continuity as the core objective of blast protection. This is not meant as a broad statement about resilience, but as a design condition that can be assessed. A facility can only be considered properly protected if the critical digital functions needed for its mission remain available at an acceptable level throughout the critical recovery period.

The first element of the model is the formal description of blast loading, expressed in equation. (1) This is necessary because the subsequent cybersecurity response cannot be initiated from a general perception of danger; it must be based on measurable or estimated physical parameters.

$$B(t) = [p + (t), i + (t), p - (t), i - (t), d(t), q(t), f(t), v(t)] \quad (1)$$

In equation, (1) $B(t)$ is the time-dependent technical description of the blast load. It is not a single value, but a parameter vector that contains the components of the explosion that are relevant not only to structures, but also to cyber-physical operation. The symbols $p + (t)$ and $i + (t)$ denote positive-phase overpressure and impulse, $p - (t)$ and $i - (t)$ denote the negative phase and its impulse, $d(t)$ captures duration and phase-structure effects, $q(t)$ denotes thermal loading, $f(t)$ denotes fragment and debris effects, and $v(t)$ denotes vibration or acceleration effects.

The purpose of the formula is not to calculate structural damage by itself. Its function is to turn the blast into a measurable input from which the expected degradation of digital infrastructure can be inferred. For example, a high impulse may be decisive for cable fixings and cabinet supports; debris impact may be decisive for exposed sensors; and thermal loading may be decisive for cable insulation, optical fibre routing and power-supply elements.

The composition of $B(t)$ can be simplified or extended in a facility-specific manner. If thermal or fragment effects are negligible at a given site, they may be represented by lower weights or simplified indicators. If underwater, underground or enclosed-space effects are relevant, further components may be added. The scientific role of the vector is to provide a common input between blast engineering and cyber-operational response logic.

The second element is the optimisation of the protection decision, described by equation. (2) A classical blast-protection optimum often examines whether structural loading

remains below resistance. In strategic and critical infrastructure facilities this is only a necessary condition. The proposed model seeks the configuration that preserves the largest cyber-operational continuity even under the worst credible blast scenario.

$$C^* = \arg \max_c \min_{\{B \in \mathcal{B}\}} \int_0^T s(t; B, C) dt \quad (2)$$

In equation, (2) C^* is the optimal protection and cybersecurity configuration. C may include network segmentation, redundant communication, reserve power supply, a blast-triggered safe mode, data archiving, local control reserves or automatic isolation. B is a particular blast scenario, while $\mathcal{B}$ denotes the set of credible scenarios examined in the design process.

The term $\min$ means that the most unfavourable credible case in the scenario set is considered. This is justified for critical infrastructure because a solution that is acceptable only for average cases may fail exactly when mission continuity is most important. The *integral* from 0 to T expresses the amount of cyber-operational continuity preserved during the critical recovery window, not only at a single moment.

Equation (2) therefore means that the best protection and cybersecurity configuration is the one that keeps the critical digital functions operating as well as possible during the recovery period, even in the worst credible blast scenario. In this sense, the optimum is not simply the solution that leaves the least visible structural damage. It is the solution that best preserves the digital functions needed to keep the mission going.

The third element is the internal decomposition of the state variable $s(t)$, given in equation. (3) Cyber-operational continuity is not a single attribute. It is the joint condition of several sub-functions. Availability, integrity, control capability, data preservation and recovery readiness may deteriorate in different ways and at different speeds.

$$s(t) = w_A A(t) + w_I I(t) + w_{Ctl} Ctl(t) + w_D D(t) + w_R R(t) \quad (3)$$

In equation, (3) $A(t)$ denotes the availability of critical digital services, $I(t)$ denotes data integrity and credibility, $Ctl(t)$ denotes supervisory and local control capability, $D(t)$ denotes data preservation and evidential capability, and $R(t)$ denotes recovery readiness. Each component is interpreted on a normalised scale between 0 and 1, where 1 means full preservation and 0 means complete loss of the given function.

The w terms are weighting factors. They express how important each sub-function is for the mission function of a given facility. The weights should preferably sum to 1. At an electric substation, availability and control capability may receive higher weights. At a telecommunications hub, availability and recovery readiness may dominate. At a port handling hazardous material, data integrity, event preservation and control capability may be more important. This is why a universal weighting scheme would be misleading.

The main message of equation (3) is that the system should not merely be labelled as operational or non-operational. It should be measured which critical digital sub-functions have survived and to what extent. For example, after a blast event the local controller may still function, while the central SCADA state picture is partially degraded; in that case $s(t)$ expresses a partial, mission-dependent continuity state rather than a binary condition.

Together, the three model equations form the core of the paper's original result. Equation (1) defines the blast input, equation (2) identifies the logic of the optimal protection

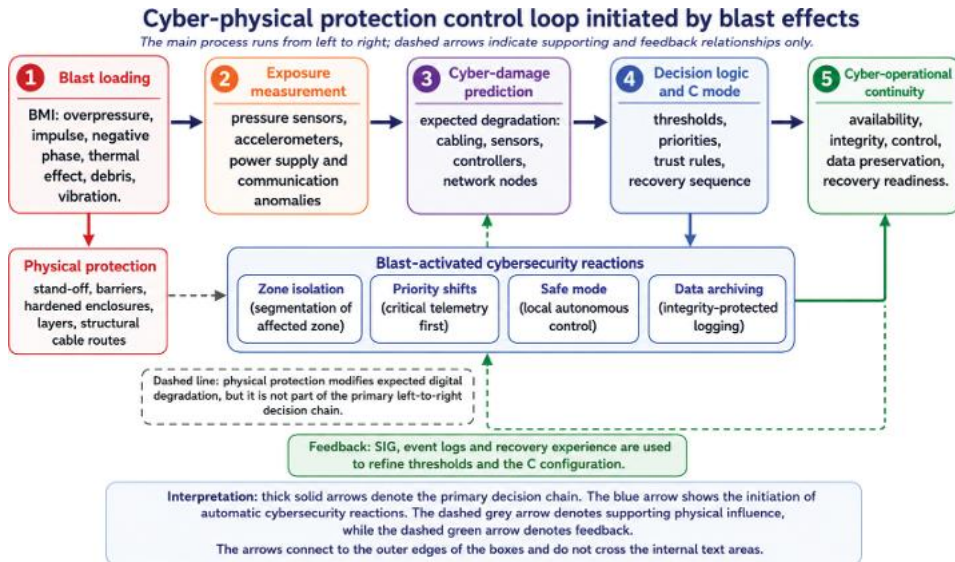


Figure 1. Logical process of the cyber-dominant blast-protection model and the relationship between the formulas

decision, and equation (3) quantifies how cyber-operational continuity can be assessed. Their relationship is summarised in Figure 1.

In the process shown in Figure 1, the blast is treated not only as a source of damage, but also as a trigger for switching the system into a protected operating mode. The novelty of the approach is that the expected cyber damage is estimated from the physical blast effects, so that predefined protection measures can be activated before the digital functions begin to degrade in an uncontrolled way.

BLAST-ACTIVATED CYBERSECURITY MODE

A blast-activated cybersecurity mode is a predefined operating state that starts automatically, or partly automatically, when the system detects or infers physical effects from a blast. It differs from conventional cyber-incident management because it is not triggered by hostile network activity, but by physical damage caused by the explosion. Its purpose is to stop that physical damage from turning into uncontrolled disruption of the digital systems.

The first function is event-driven segmentation. If the communication nodes, field controllers or edge devices of a zone are affected, the zone must be isolated. Isolation, however, must not interrupt indispensable safety signals. Therefore, the segmentation rule must be designed, tested and documented in advance.

The second function is traffic prioritisation. After a blast, not every data flow has equal significance. Fire alarms, gas detection, emergency shutdown signals, power-supply status, access-control data, rescue communication and validated telemetry may have priority over ordinary operational, diagnostic or administrative traffic. The surviving communication capacity must therefore be allocated to mission-critical flows.

The third function is local safe mode. If communication with central supervision becomes weak, unstable or unavailable, the local controllers should not be left to operate blindly. They should move into a safe, pre-planned operating state where only the essential functions continue. This helps keep the process stable, prevents further damage to the equipment, and leaves the system in a condition where it can later be reconnected safely and under control.

The fourth function is integrity-protected archiving. Event data generated during the first minutes after a blast may be decisive for damage assessment, recovery, liability analysis and the exclusion of additional risks. The system must therefore preserve logs, state data and operator actions in a tamper-resistant or write-protected form.

The fifth function is controlled reconnection. After a blast, it is not enough for a device simply to appear online. A sensor may still be sending values, but those values may no longer be reliable. A communication link may still work, but with unstable delay or packet loss. A controller may restart, but without the correct process state. For this reason, systems should only be reconnected after their condition has been checked against predefined validation steps, trust rules and a clear recovery sequence.

APPLICATION EXAMPLES AND RETROSPECTIVE CONTROL LOGIC

The following examples are not meant to suggest that the proposed model, by itself, would have prevented these incidents. They are used for a more practical reason: to show how the model could be applied in real engineering situations, where blast protection has to consider not only physical damage, but also the survival of communication, control, sensing and data functions.

Fuel depot and hazardous-material storage. Investigations of the Buncefield incident highlighted the decisive role of sensing, alarm and shutdown functions at hazardous industrial sites. [36][37] In the proposed model, such a facility would require protected and mutually validated level sensing, isolated emergency shutdown communication, integrity-protected event archiving and a local safe mode for affected process sections. The practical focus would not be only the protection of tanks and buildings, but also the continuity of measurement, alarm, shutdown and recovery data paths. [38]

Electric substation. The 2013 physical attack against the Metcalf substation drew attention to physical and communication vulnerabilities in electric power infrastructure; afterwards, physical security requirements for critical transmission assets received increased attention. [39][40] In the proposed model, the primary controls would include physically separated redundant optical routes, protected telemetry cabinets, blast-sensitive zone isolation and controlled reconnection of remote-control functions. In the notation of equation, (3) the objective would be to preserve $A(t)$, $Ctl(t)$ and $R(t)$ under the worst credible local attack scenario.

Telecommunications hub. The 2020 Nashville bombing illustrated how a physical event affecting a communication facility can become a wider telephone, internet and emergency-communication outage. [41][42] Under the proposed model, a telecommunications hub would require blast-activated service rerouting, prioritised emergency communications, reserve power validation and geographically separated management access.

Table 1. Application examples and proposed cyber-physical controls

Facility type	Cyber-physical vulnerability	Applicable control	Model-related result
Fuel depot	sensors, alarms, ESD, cabling	multi-source validation; safe mode; archiving	strengthening of $I(t)$, $Ctl(t)$, $D(t)$
Electric substation	optical link, telemetry, remote control	physically separated redundancy; zone isolation	preservation of $A(t)$, $Ctl(t)$, $R(t)$
Telecommunications hub	power supply, entry points, service rerouting	blast-activated rerouting; prioritisation	dominant weight of $A(t)$ and $R(t)$
Port	terminal control, hazardous-goods data, rescue communication	local safe mode; isolated data replica	preservation of $I(t)$, $D(t)$, $Ctl(t)$
Pipeline	remote telemetry, acoustic/pressure data, sectioning	anomaly-based isolation; event archive	improvement of min_s $s(t)$

The emphasis would be on maintaining availability and recovery readiness even if a local site is degraded.

Port and logistics node. The Beirut port explosion in 2020 caused severe physical, economic and logistical consequences, and recent research has discussed its implications for port infrastructure, supply chains and resilience. [43] For port and logistics environments, the model points to protected hazardous-goods data, local terminal-control safe modes, emergency communication isolation and offline replicas of key logistics data. [44][45] The cyber-operational problem is that after the physical blast, the operator must still know which cargo, route, access point and emergency priority information can be trusted.

Distributed pipeline and undersea infrastructure. The damage to the Nord Stream pipelines in 2022 showed that physical attacks may affect distributed and hard-to-access critical infrastructure. [46][47] In this context, the model would emphasise anomaly-based segmentation, pressure and acoustic-data preservation, independent communication channels and evidence-grade archiving. The engineering question is not only where the rupture occurred, but also how quickly the system can isolate the affected section, preserve trustworthy telemetry and maintain the integrity of event reconstruction.

ENGINEERING IMPLEMENTATION FRAMEWORK

Putting the model into practice requires the people responsible for physical protection, OT architecture, cybersecurity, process safety and facility operation to plan together from the beginning. The first step is not simply to prepare a usual IT asset list. The system has to be mapped as a whole, including the protected structures, cable routes, power-supply lines, controllers, sensors, communication nodes, local and remote HMI functions, data archives, grounding connections and the dependencies that determine how recovery can actually take place.

The second step is blast-exposure zoning. The value of stand-off distance, barriers, retrofit and energy-absorbing layers must also be measured according to the extent to

Table 2. Relationship between physical blast degradation and cyber-operational controls

Physical degradation	Cyber-operational consequence	Primary control	Performance indicator
Cable-route damage	latency, packet loss, route failure	physically separated redundancy; automatic rerouting	switch-over time; number of surviving routes
Power-supply branch degradation	PLC/switch restart, partial unavailability	selective reserve power; priority-based load shedding	availability of critical devices
Mechanical sensor damage	false or stale state information	data validation; multi-source checking; quarantine	ratio of validated telemetry
Network-node damage	topological instability, decoupling	event-driven segmentation; controlled reconnection	segmentation time; reconnection success rate
Edge/data archive damage	log loss, lack of evidence	write-protected archive; timestamping; replication	completeness of archived event data

which they protect critical digital paths. This means that cable routes, optical entries, field cabinets and control-room connections must be evaluated alongside walls and equipment.

The third step is to define the minimum digital mission function. The facility must specify which services must be preserved in the first 1, 10 and 60 minutes after a blast and over the full recovery window. Different requirements may apply to safety telemetry, emergency shutdown, rescue communication, access control, operational data and long-term archiving.

The fourth step is the construction of the C configuration. This includes the network rules of protected zones, the priority of safety-critical traffic, the entry conditions for local safe mode, the rules of integrity-protected archiving and the order of controlled reconnection. The C configuration should not be a paper plan only; it must be tested through technical exercises and facility-level scenarios.

One of the most important design principles is that not only the device, but also the route must be protected. A protected PLC, switch or server is insufficient if the associated power supply, communication connection and sensor inputs run through the same vulnerable pathway. Similarly, redundant communication does not create true resilience if both routes are exposed to the same blast zone.

VERIFICATION AND PERFORMANCE INDICATORS

The model becomes an engineering requirement only if verifiable indicators are connected to the state variable $s(t)$ defined in equation (3). A normalised version of the time integral in equation (2) can be used as the ST indicator:

$$S_T = \frac{1}{T} \int_0^T s(t; B, C) dt \quad (4)$$

In equation, (4) S_T approaches 1 if the critical digital functions are preserved or degrade in a controlled manner throughout the recovery window. A value close to 0 indicates essential cyber-operational failure. The advantage of this indicator is that it does not

reward a short-lived recovery that quickly collapses, nor does it ignore a delayed but stable return of critical functions.

Several supporting indicators can help assess whether the system remains under control after a blast. These include the time needed for segmentation, the time required to enter safe mode, the proportion of telemetry that can still be validated, and the number of redundant routes that remain available. Other useful indicators are the completeness of archived event data, the duration of the recovery sequence, the number of false state reports, and the time needed to restore trust between local and central control.

Verification can be based on a combination of five methods. First, document-based review can check the consistency of blast scenarios and dependency maps. Second, pressure-impulse or numerical exposure analysis can estimate the loading of critical digital routes. Third, laboratory or field tests can examine the vulnerability of cable routes, connectors, cabinets, fixings, sensors and edge devices.

Fourth, cyber-physical simulation can examine the network, control and data-integrity consequences of losing a zone. Fifth, tabletop and field exercises can verify whether operators, engineers and security specialists can handle the post-blast cyber-physical state. The validation should cover not only technical switching, but also human decision-making and command-and-control procedures.

The main verification question is not whether the structure remained standing. The decisive question is whether the operator, the controller and the recovery team had a trustworthy, integrity-protected and usable state picture. A facility may appear physically functional while being cyber-operationally blind.

DISCUSSION, LIMITATIONS AND FUTURE RESEARCH DIRECTIONS

The first consequence of the proposed model is a change in the prioritisation of blast-protection investments. It is not sufficient to reinforce the most visible structural elements. The value of protection must also be measured by the extent to which it preserves power, communication, sensing and control routes. This modifies the cost-benefit logic of protective investment.

The second consequence is the preparation of the OT cybersecurity architecture for physical shock effects. The NIST CSF 2.0, NIST SP 800-82, IEC 62443 and CISA recommendations emphasise segmentation, defence-in-depth, logging, incident response and recovery. [15][24][30][31][32] The present model does not replace these frameworks; it links them to blast exposure. This is especially important for water utilities and other sensor-intensive infrastructures, where sensor placement, water-safety planning and drinking-water security standards are fundamental conditions of operational continuity. [48][49][50]

The third consequence is related to incident classification. A blast affecting a strategic facility should not be seen only as a physical-security or disaster-management event. If the explosion also damages supervisory data, communication paths, control capability or event logs, then the incident has a cyber-physical dimension and should be managed accordingly.

The model has limitations. It requires reliable sensors, validated thresholds and pre-tested response logic. Poorly designed automatic segmentation or safe mode may increase process-safety risk. The cyber-dominant approach therefore cannot permit the uncontrolled introduction of automatic responses.

A further limitation is that the weights of $s(t)$ are facility-specific. A universal weighting system would create a false sense of security. The weights must be determined through threat assessment, business-continuity requirements, security classification, process-safety analysis and operational experience.

Future research should develop blast fragility functions for elements of digital infrastructure. Cable trays, optical fibres, antenna elements, field cabinets, connectors, sensors and edge devices are particularly important. A further research direction is the empirical investigation of the relationship between pressure-impulse parameters and cyber-operational degradation.

The scientific value of the model lies in transforming blast protection into an engineering problem of cyber-physical mission continuity. This reframing is especially important in environments where physical survival alone does not guarantee the preservation of social, economic, military or supply-security functions.

CONCLUSIONS

The study offers a cyber-focused way of rethinking blast protection for strategic facilities and critical infrastructure. It argues that classical structural protection is still necessary, but it is not sufficient when the facility can only fulfil its mission if energy supply, information flows, communication links, sensors and ICS/SCADA control functions remain available.

The original result of the article is the connection of three mutually dependent formal elements: the blast-loading vector defined in equation, (1) the max-min optimisation objective stated in equation, (2) and the cyber-operational continuity state variable detailed in equation. (3) Practical assessment is supported by the S_T indicator in equation, (4) the logical model in Figure 1 and the engineering summaries in Tables 1-3.

The application examples showed that the model is not an abstract theoretical construction. For fuel depots, electric substations, telecommunications hubs, ports and distributed pipeline infrastructure, cabling, communication nodes, sensors, power supply, controllers and data archives can all be interpreted as primary blast-protection assets.

The practical conclusion is clear: when selecting stand-off, barriers, retrofit and energy-absorbing layers, cyber-service continuity must be optimised alongside structural damage reduction. A blast-protection plan can be considered up to date only if physical protection and the OT cybersecurity response form a single integrated cyber-physical protection system.

NOMENCLATURE

The main symbols, including the variables and performance indicators of equations, (1)-(4) are summarised in Table 3.

Table 3. Main symbols used in the model

Symbol	Meaning
$s(t)$	Cyber-operational continuity state variable.
$B(t)$	Parameter vector describing blast loading.
$\mathcal{B}$	Set of credible blast scenarios examined.
C	Cybersecurity configuration or operating mode.
T	Critical recovery time window.
$A(t)$	Availability of critical digital services.
$I(t)$	Integrity and credibility of data.
$Ctl(t)$	Supervisory and local control capability.
$D(t)$	Long-term data preservation and evidential capability.
$R(t)$	Recovery readiness.
$p + (t)$	Positive-phase overpressure, indicating the direct pressure load of the blast wave.
$I + (t)$	Positive-phase impulse, i.e. the time-integrated effect of positive pressure loading.
$p - (t)$	Negative-phase pressure effect, denoting the suction or lower-pressure phase after the blast wave.
$i - (t)$	Negative-phase impulse, i.e. the time-integrated effect of the negative phase.
$d(t)$	Component related to the duration and phase structure of the blast load.
$q(t)$	Thermal effect, especially relevant to cables, enclosures, sensors and power-supply elements.
$f(t)$	Fragment and debris effect, which may cause local damage to digital paths, cabinets and field devices.
$v(t)$	Vibration or acceleration component affecting fixings, connectors and sensitive equipment.
$w_{A^*}, w_p, w_{CIP}, w_{D^*}, w_R$	Weighting factors expressing the facility-specific importance of $A(t)$, $I(t)$, $Ctl(t)$, $D(t)$ and $R(t)$.
S_T	Integrated cyber-operational continuity performance indicator normalised to the critical recovery window.

REFERENCES

- [1] Figuli L. – Kovács T. A. – Nyikes Z. – Mañas P. (2022): *Principles of Physical Protection of Strategic Assets Against Blast Effects*. In: Kovács T. A., Nyikes Z. and Fürstner I. (eds.) *Security-Related Advanced Technologies in Critical Infrastructure Protection*. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, Dordrecht (2022). DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-024-2174-3_29
- [2] Daruka N. (2025): *Options for Implementing Explosion Protection in Critical Infrastructure*. In: Kovács T. A., Stadler R. G. and Daruka N. (eds.) *The Impact of the Energy Dependency on Critical Infrastructure Protection*. ICCECIP 2024. Advanced Sciences and Technologies for Security Applications. Springer, Cham, pp. 281–291 (2025). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-78544-3_22
- [3] Daruka N. (2022): *Critical Infrastructure Protection in the Production and Use of Explosives Industry Products*. In: Kovács T. A., Nyikes Z. and Fürstner I. (eds.) *Security-Related Advanced Technologies in Critical Infrastructure Protection*. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental

- Security. Springer, Dordrecht, pp. 297–313 (2022). DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-024-2174-3_26
- [4] Daruka N. (2026): *Ice Blasting, or How to Protect Critical Infrastructure Near Water*. In: Kovács T. A., Stadler R. G. and Daruka N. (eds.) *Water as a Cardinal Area of Critical Infrastructure Protection*. ICCECIP 2024. Advanced Sciences and Technologies for Security Applications. Springer, Cham, pp. 151–161 (2026). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-032-14058-6_13
- [5] Gulyás G. (2026): *Defense of Critical Infrastructure Against the Effects of Field Artillery*. In: Kovács T. A., Stadler R. G. and Daruka N. (eds.) *Water as a Cardinal Area of Critical Infrastructure Protection*. ICCECIP 2024. Advanced Sciences and Technologies for Security Applications. Springer, Cham, pp. 187–198 (2026). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-032-14058-6_16
- [6] Ember I. (2026): *Blasting Technology Components and Their Materials Produced Using Additive Manufacturing*. In: Kovács T. A., Stadler R. G. and Daruka N. (eds.) *Water as a Cardinal Area of Critical Infrastructure Protection*. ICCECIP 2024. Advanced Sciences and Technologies for Security Applications. Springer, Cham, pp. 163–171 (2026). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-032-14058-6_14
- [7] Kruszká L. – Sobczyk K. (2022): *Applications of Hopkinson Bar Technique for Capability Testing of High-Energy Absorption Materials*. In: Kovács T. A., Nyikes Z. and Fürstner I. (eds.) *Security-Related Advanced Technologies in Critical Infrastructure Protection*. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, Dordrecht, pp. 13–27 (2022). DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-024-2174-3_2
- [8] Klosak M. – Rusinek A. – Jankowiak T. – Bendarma A. (2022): *Material Testing Under Dynamic Loadings – Proper Design of Critical Infrastructure Structural Elements*. In: Kovács T. A., Nyikes Z. and Fürstner I. (eds.) *Security-Related Advanced Technologies in Critical Infrastructure Protection*. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, Dordrecht, pp. 169–183 (2022). DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-024-2174-3_15
- [9] Federal Emergency Management Agency (2003): *Reference Manual to Mitigate Potential Terrorist Attacks Against Buildings*. FEMA 426 / BIPS-06. FEMA, Washington, DC (2003). Available at: <https://www.dhs.gov/xlibrary/assets/st/st-bips-06.pdf>
- [10] Department of Defense (2014): *UFC 3-340-02: Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions*. Whole Building Design Guide (2014). Available at: <https://www.wbdg.org/ffc/dod/unified-facilities-criteria-ufc/ufc-3-340-02>
- [11] Smith Peter D. – Hetherington James G. (2005): *Blast Effects on Buildings*. London: Thomas Telford Publishing. Online: https://www.sefindia.org/forum/files/blast_effects_of_structures_intro_723.pdf
- [12] Karlos V. – Solomos G. (2013): *Calculation of Blast Loads for Application to Structural Components*. Joint Research Centre, Publications Office of the European Union (2013). DOI: <https://doi.org/10.2788/61866>
- [13] Chovancikova N. – Dvorak Z. (2022): *Model of Resilience Assessment of Electricity Infrastructure*. In: Kovács T. A., Nyikes Z. and Fürstner I. (eds.) *Security-Related Advanced Technologies in Critical Infrastructure Protection*. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, Dordrecht, pp. 261–270 (2022). DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-024-2174-3_23
- [14] Ross R. – Pillitteri V. – Graubart R. – Bodeau D. – McQuaid R. (2021): *Developing Cyber-Resilient Systems: A Systems Security Engineering Approach*. NIST Special Publication 800-160 Volume 2 Revision 1. National Institute of Standards and Technology (2021). DOI: <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-160v2r1>
- [15] National Institute of Standards and Technology (2024): *The NIST Cybersecurity Framework (CSF) 2.0*. NIST Cybersecurity White Paper 29 (2024). DOI: <https://doi.org/10.6028/NIST.CSWP.29>; Available: <https://www.nist.gov/cyberframework>

- [16] European Parliament and Council (2022): *Directive (EU) 2022/2555 on measures for a high common level of cybersecurity across the Union (NIS2 Directive)*. Official Journal of the European Union. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2022/2555/oj>
- [17] Ngo T. – Mendis P. – Gupta A. – Ramsay J. (2007): *Blast Loading and Blast Effects on Structures: An Overview*. Electronic Journal of Structural Engineering, Special Issue: Loading on Structures. pp. 76–91.
- [18] Rigby S. E. – Tyas A. – Bennett T. – Clarke S. D. – Fay S. D. (2014): *The Negative Phase of the Blast Load*. International Journal of Protective Structures. 5.(1). pp. 1–20. DOI: <https://doi.org/10.1260/2041-4196.5.1.1>
- [19] Ratcliff A. – Rigby S. E. – Clarke S. D. – Tyas A. – Fay S. D. (2023): *A Review of Blast Loading in the Urban Environment*. Applied Sciences. 13.(9). 5349. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13095349>
- [20] Andrae M. – Berg H. – Feldmann M. – Mäder M. (2024): *Mitigating Blast Hazards: Experimental Evaluation of Anti-Shatter Films and Catcher-Cable Systems on Conventional Windows*. Buildings. 14.(3). 767. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings14030767>
- [21] Hussein A. T. – Al-Salloum Y. A. – Abbas H. – Almusallam T. H. (2020): *Blast Protection Wall Systems*. WIT Transactions on The Built Environment. 198. pp. 83–94. DOI: <https://doi.org/10.2495/SUSI200081>
- [22] Kós G. G. – Daruka N. (2026): *Critical Infrastructure Hazards During Emergency Response*. In: Kovács T. A., Stadler R. G. and Daruka N. (eds.) *Water as a Cardinal Area of Critical Infrastructure Protection*. ICCECIP 2024. Advanced Sciences and Technologies for Security Applications. Springer, Cham, pp. 233–247. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-032-14058-6_19
- [23] Bene V. – Kristóf Z. – Elek B. (2026): *Drone and Missile Defence for Public Protection Using Integrated Monitoring and Public Alert Systems (MPAS) in the Vicinity of Industrial Installations*. In: Kovács T. A., Stadler R. G. and Daruka N. (eds.) *Water as a Cardinal Area of Critical Infrastructure Protection*. ICCECIP 2024. Advanced Sciences and Technologies for Security Applications. Springer, Cham, pp. 91–101. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-032-14058-6_8
- [24] Stouffer K. – Pease M. – Tang C. – Zimmerman T. – Pillitteri V. – Lightman S. – Hahn A. – Saravia S. – Sherule A. – Thompson M. (2023): *Guide to Operational Technology (OT) Security*. NIST Special Publication 800-82 Revision 3. National Institute of Standards and Technology. DOI: <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-82r3>
- [25] Kovács Z. (2026): *Defending OT Networks: For on the Spot and by the IT Networks Around It*. In: Kovács T. A., Stadler R. G. and Daruka N. (eds.) *Water as a Cardinal Area of Critical Infrastructure Protection*. ICCECIP 2024. Advanced Sciences and Technologies for Security Applications. Springer, Cham, pp. 1–13. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-032-14058-6_1
- [26] Basdogan O. (2026): *Limitations of Detection Technologies and Solution Proposals in Cyber Defense of Critical Infrastructure*. In: Kovács T. A., Stadler R. G. and Daruka N. (eds.) *Water as a Cardinal Area of Critical Infrastructure Protection*. ICCECIP 2024. Advanced Sciences and Technologies for Security Applications. Springer, Cham, pp. 39–47 (2026). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-032-14058-6_4
- [27] Nyikes Z. (2026): *Critical Infrastructure Cybersecurity and the Future of Industrial Systems Protection*. In: Kovács T. A., Stadler R. G. and Daruka N. (eds.) *Water as a Cardinal Area of Critical Infrastructure Protection*. ICCECIP 2024. Advanced Sciences and Technologies for Security Applications. Springer, Cham, pp. 301–318. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-032-14058-6_24
- [28] Fürstner I. – Tornai T. – Čović Z. – Gogolák L. (2026): *Security Challenges Related to Simultaneous Use of Multiple Communication Protocols in the Control of Mechatronic Devices*. In: Kovács T. A., Stadler R. G. and Daruka N. (eds.) *Water as a Cardinal Area of Critical Infrastructure Protection*. ICCECIP 2024. Advanced Sciences and Technologies for Security Applications. Springer, Cham, pp. 491–504. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-032-14058-6_37

- [29] European Union Agency for Network and Information Security (2016): *Communication Network Dependencies for ICS/SCADA Systems*. ENISA 2016. Available at: <https://www.enisa.europa.eu/publications/communication-network-dependencies-for-ics-scada-systems>
- [30] International Society of Automation: *ISA/IEC 62443 Series of Standards*. Available at: <https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards/isa-iec-62443-series-of-standards>
- [31] CISA (2016): *Recommended Practice: Improving Industrial Control System Cybersecurity with Defense-in-Depth Strategies* 2016. Available at: https://www.cisa.gov/sites/default/files/recommended_practices/NCCIC_ICS-CERT_Defense_in_Depth_2016_S508C.pdf
- [32] CISA (2020): *Cybersecurity Best Practices for Industrial Control Systems 2020*. Available: https://www.cisa.gov/sites/default/files/publications/Cybersecurity_Best_Practices_for_Industrial_Control_Systems_508.pdf
- [33] Bhamare D. – Zolanvari M. – Erbad A. – Jain R. – Khan K. – Meskin N. (2020): *Cybersecurity for Industrial Control Systems: A Survey*. *Computers & Security*, 89, 101677 (2020). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cose.2019.101677>
- [34] Makrakis G. M. – Kolias C. – Kambourakis G. – Rieger C. – Benjamin J. (2021): *Industrial and Critical Infrastructure Security: Technical Analysis of Real-Life Security Incidents*. *IEEE Access*, 9, 165295–165325. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3134711>
- [35] Maravić Čisar S. – Pinter R. – Čisar P. (2025): *IoT Security for Critical Infrastructure: Challenges and Best Practices*. In: Kovács T. A., Stadler R. G. and Daruka N. (eds.) *The Impact of the Energy Dependency on Critical Infrastructure Protection*. ICCECIP 2024. *Advanced Sciences and Technologies for Security Applications*. Springer, Cham, pp. 239–247 (2025). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-78544-3_18
- [36] Buncefield Major Incident Investigation Board (2008): *The Buncefield Incident 11 December 2005*. The Final Report of the Major Incident Investigation Board, Volume 1 2008. Available at: <https://www.fabig.com/media/tpuaseey/buncefield-incident-miib-final-report-volume-1-dec2008.pdf>
- [37] Health and Safety Executive (2011): *Buncefield: Why Did It Happen?* COMAH Competent Authority 2011. Available at: <https://www.icheme.org/media/10706/buncefield-report.pdf>
- [38] Berek T. (2022): *Tasks of the Implementation of Physical Security System of the CBRN Laboratories*. In: Kovács T. A., Nyikes Z. and Fürstner I. (eds.) *Security-Related Advanced Technologies in Critical Infrastructure Protection*. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, Dordrecht, pp. 315–330. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-024-2174-3_27
- [39] Parfomak P. W. (2014): *Physical Security of the U.S. Power Grid: High-Voltage Transformer Substations*. Congressional Research Service, R43604. Available at: <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc332888/>
- [40] North American Electric Reliability Corporation (2022): *Reliability Standard CIP-014-3 - Physical Security*. NERC, Atlanta/Washington, DC. Available at: <https://www.nerc.com/globalassets/standards/reliability-standards/cip/cip-014-3.pdf>
- [41] CISA – SAFECOM – NCSWIC (2022): *Communications Dependencies Case Study: Nashville Christmas Day Bombing*. Available at: <https://www.cisa.gov/news-events/news/safecom-and-ncswic-release-communications-dependencies-case-study-nashville-christmas-day-bombing>
- [42] Cloudflare (2021): *Internet Traffic Disruption Caused by the Christmas Day Bombing in Nashville*. Available at: <https://blog.cloudflare.com/internet-traffic-disruption-caused-by-the-christmas-day-bombing-in-nashville/>
- [43] Al Maalouf N. J. et al. (2025): *Assessing the Impact of the Beirut Port Explosion on Supply Chain Management and Seaport Infrastructure in Lebanon: A Pathway to Resilience and Reform*. *Supply Chain Analytics*, 100234. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sca.2025.100234>
- [44] Nagy J. – Foltin P. (2024): *Data-Driven Strategies for Enhancing Supply Chain and Transportation Infrastructure Resilience*. In: Kovács T. A., Stadler R. G. and Daruka N. (eds.) *The Impact of the Energy Dependency on Critical Infrastructure Protection*. ICCECIP 2024. *Advanced Sciences and*

- Technologies for Security Applications. Springer, Cham, pp. 1–16. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-78544-3_1
- [45] Simon J. – Gogolák L. (2025): *Supply Chain Management Using Automatic Guided Vehicle Systems in Smart Factory Logistics*. In: Kovács T. A., Stadler R. G. and Daruka N. (eds.) *The Impact of the Energy Dependency on Critical Infrastructure Protection*. ICCECIP 2024. Advanced Sciences and Technologies for Security Applications. Springer, Cham, pp. 611–624. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-78544-3_49
- [46] Soldi G. – Gaglione D. – Forti N. – Zissis D. – Braca P. et al. (2023): *Monitoring of Underwater Critical Infrastructures: The Nord Stream and Other Recent Case Studies*. arXiv:2302.01817. Available at: <https://arxiv.org/abs/2302.01817>
- [47] European Commission and NATO (2023): *EU-NATO Task Force on the Resilience of Critical Infrastructure: Final Assessment Report*. European Commission, Brussels 2023. Available at: https://commission.europa.eu/system/files/2023-06/EU-NATO_Final%20Assessment%20Report%20Digital.pdf
- [48] Adedoja O. S. – Hamam Y. – Khalaf B. – Sadiku R. (2021): *The Roles of Sensor Placement in Water Quality Monitoring in a Water Distribution System*. In: Vaseashta A. and Maftei C. (eds.) *Water Safety, Security and Sustainability: Threat Detection and Mitigation*. Advanced Sciences and Technologies for Security Applications. Springer, Cham, pp. 47–66. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-76008-3_3
- [49] Popa M. – Glevitzky I. (2021): *Security Standards Applied to Drinking Water*. In: Vaseashta A. and Maftei C. (eds.) *Water Safety, Security and Sustainability: Threat Detection and Mitigation*. Advanced Sciences and Technologies for Security Applications. Springer, Cham, pp. 371–394. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-76008-3_16
- [50] Vasović D. – Janačković G. – Vaseashta A. (2021): *Application of the Systems Approach and System Standards in Water Safety Plan Development and Implementation*. In: Vaseashta A. and Maftei C. (eds.) *Water Safety, Security and Sustainability: Threat Detection and Mitigation*. Advanced Sciences and Technologies for Security Applications. Springer, Cham, pp. 243–262. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-76008-3_10

COMPARING BLAST DESIGNS USING A 3D FRAGMENTATION ANALYSIS SOFTWARE

ROBBANTÁSI TERVEK ÖSSZEHAISONLÍTÁSA EGY 3D-S FRAGMENTÁCIÓS ELEMZŐ SZOFTVER SEGÍTSÉGÉVEL

Áron KARDALUS¹

ABSTRACT

Fragmentation after blasting is crucial for the efficiency of mining operations, influencing recovery, loading and crushing costs and overall production. Different blast designs have been noticed to influence fragmentation, however, measuring it by sieving has been difficult and costly. In the Kiruna mine, a test was conducted to use a custom software to analyse fragmentation while testing two different initiation systems. Using an experimental software based on 3D fragmentation analysis, a contactless data capturing was undertaken by two cameras mounted on the roof of the drift, collecting data without disturbing production. A total of 5029 bucket loads of load-haul-dump machines have been analysed and, based on the results, two initiation systems compared. The results show that the test system performs better than the reference system. On average, the number of boulders in the rings initiated according to the test system was lower by 81,6% compared to the reference rings. In the rings initiated with the test system, the x20 fragment size was improved (smaller fragment sizes) by 65,5%, in the case of x50 by 32,1% and in the case of x80 by 26,3%. While the software performed as intended, the analysis highlighted some issues with the hardware used to capture data. Based on these findings, a new data capturing system will be prepared to be used with the commercially available successor of the experimental software.

Keywords: sublevel caving, underground mining, nonelectric detonator, fragmentation, blast design, 3D photo reconstruction.

ÖSSZEGZÉS

A robbantás utáni darabosodás döntő fontosságú a bányászati műveletek hatékonysága szempontjából, mivel befolyásolja a kitermelési, rakodási és zúzási költségeket, valamint az általános termelést. Megállapították, hogy a különböző robbantási tervek hatással vannak a darabosodásra, azonban annak szítalással történő mérése eddig nehéz és költséges volt. A Kiruna-i bányában kísérletet hajtottak végre, amelynek során egy egyedi szoftver segítségével elemezték a darabosodást, miközben két különböző gyűjtőrendszer tesztelték. A 3D-s darabosodás-elemzésen alapuló kísérleti szoftver segítségével két, a tárnák mennyezetére szerelt kamera segítségével érintésmentes adatgyűjtést hajtottak végre, a termelés zavarása nélkül. Összesen 5029 kanálnyi rakodó-szállító-ürítő gép rakományát elemezték, és az eredmények alapján összehasonlították a két robbantási rendszert. Az eredmények azt mutatják, hogy a kísérleti rendszer job-

¹PhD Student, VSB – Technical University of Ostrava, Czech Republic. E-mail: kardalus.aron@gmail.com; ORCID: 0009-0007-2781-0475.

ban teljesít, mint a referencia-rendszer. Átlagosan a teszrendszer szerint robbantott gyűrűkben a batárok száma 81,6%-kal alacsonyabb volt, mint a referencia-gyűrűkben. A teszrendszerrel robbantott gyűrűkben az x20-as törmelék méret 65,5%-kal, az x50-es 32,1%-kal, az x80-as pedig 26,3%-kal javult (kisebb törmelék méretek). Míg a szoftver a várakozásoknak megfelelően működött, az elemzés rávilágított az adatgyűjtéshez használt hardverrel kapcsolatos néhány problémára. Ezen eredmények alapján új adatgyűjtő rendszer lesz előkészítve, amelyet a kísérleti szoftver kereskedelmi forgalomban kapható utódjával együtt fognak használni.

Kulcsszavak: *alszintű bányászat, föld alatti bányászat, nem elektromos robbanószer, széttöredezés, robbantási terv, 3D-s fotórekonstrukció.*

INTRODUCTION

Fragment size distribution is important for the productivity and profitability of every mining operation. Poor fragmentation can lead to excessive loading and crushing costs along with ore loss. [1] Fragmentation can be controlled by blast design (drill plan, types and characteristics of the explosives and their distribution, timing design and initiation systems). Several different studies have been undertaken to study the influence of the blast design on the fragment size distribution in sublevel caving mines, such as: Power, [2] Zhang, [3][4] Brunton et al., [5] Dunstan & Power, [6] Thurley et al. [7]

Analysing the fragmentation can prove costly and time consuming. Several studies have been undertaken at sublevel caving mines, operated by LKAB, over the years to measure samples extracted from draw points. Wimmer et al. [8] carried out a fragmentation analysis in the Kiirunavaara (Kiruna) Mine. By sieving ore loaded from the draw point, 6 successive bucket loads have been analysed, a total of 96 tons. Righetti [9] analysed 464 photos of bucket loads with a 2D software. Wimmer et al. [10] combined sieving with 2D fragmentation analysis on an experimental scale. However, the costs proved to be prohibitive to apply sieving on large scale, and software analysis of the photos was found to be a cost-effective solution.

During 2021–2022, a test to compare two different initiation systems and determine the impact on fragment size distribution has been conducted in the Kiruna Mine.

During loading, data was collected from the filled load-haul-dump machine (LHD) buckets in the form of two sets of photos taken from different angles. The fragment size distributions are evaluated by using a software where the photos are reconstructed into 3D models, and the fragmentation of the bucket loads are analysed.

Left and right photo pairs of the bucket loads are reconstructed into a 3D model to analyse the fragmentation, in an approach comparable to physical sieving. The analysis is performed using a custom software by 3GSM, named Central Control Routine (CCR). Analysing the fragmentation of specific rings in two nearby drifts provides feedback to determine how different initiation systems affect the fragmentation and collate results with previous studies.

The dataset provided for the study is limited by the photo quality, as the data collection was conducted using cameras installed on the roof of a drift. Photo quality was affected by the conditions, such as dirt on the lenses, LHD driving speed and lighting conditions affecting the reconstruction and classification of the fragments by the software. This paper focuses on the workflow, performance and findings while working with a custom software in beta stage.

MATERIAL AND METHODS

Dataset

The dataset consists of the photos taken of loaded buckets of the LHDs. Every time a machine or vehicle passes below the camera station, a motion sensor is triggered and the cameras take bursts of 18 photos each. This usually consists of bursts of offset (left and right) photos taken from the camera station on the roof of the drift. However, sometimes one side is missing due to technical issues, but the software has the capability to reconstruct the models based on one set of photos so data will not be lost. The two drifts, drift 97 and 101, had separate camera stations. Based on the timestamps of the photos and the loader data, the rings where the loaded material originated from was determined.

Software

To analyse the fragmentation, a 3D image analysis software was developed by 3GSM. Using the two-photo series taken at different angles, a 3D model of the bucket load is created and the fragmentation is analysed.

Based on Stauder, [11] the process of reconstructing the photos into a 3D model can be summarised as the following. The first step is removing the distortion of the photos, creating ortho-photos for the left and right photos. Next, on the left and right photos, a set of related image points are obtained. Using the angle and distance between the cameras, a

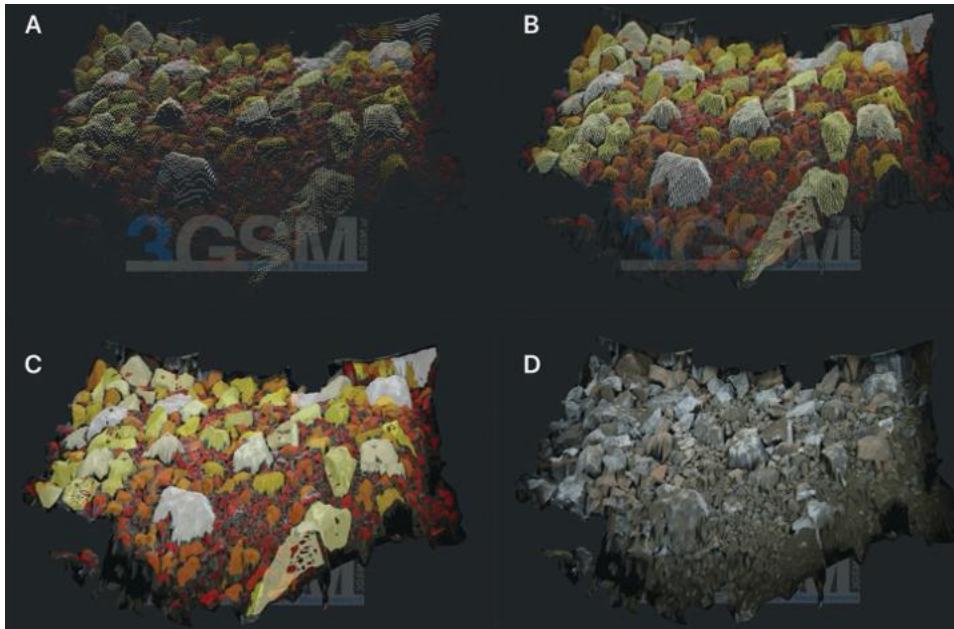


Figure 1. (A) Point cloud; (B) Wireframe; (C) 3D model with the fragmentation analysis overlaid; (D) 3D model without the fragmentation analysis

3D point cloud is generated by intersecting the rays “drawn” from the related image points recognised in the left and right pictures. This is performed for all the related points.

The result of this process can be viewed in the 3D window of the software. The point cloud can be checked along with the wire mesh, created using the point cloud. The 3D model consists of the set of images merged and overlaid on the generated mesh. This is why usually the edges of the large particles seem stretched. (Figure 1)

The software combines 3D and 2D images to perform the fragmentation analysis. The fragmentation analysis is performed first in 3D using the surface geometry, and then the 2D analysis can further improve the initial results. [11] The adjustments can be made in the 2D view and are then applied to the 3D model.

FRAGMENTATION ANALYSIS METHOD

The workflow of the fragmentation analysis is presented in Figure 2. To create a project, a pair of left and right photos taken of the same bucket are required for calibration purposes. Once the project is set up, the importing and organising of the photos is performed. The software can recognise loaded buckets, leading to a more efficient process of eliminating photo series of empty buckets or passing vehicles. The maximum number of imported series of bucket loads was limited to 100 due to computer performance

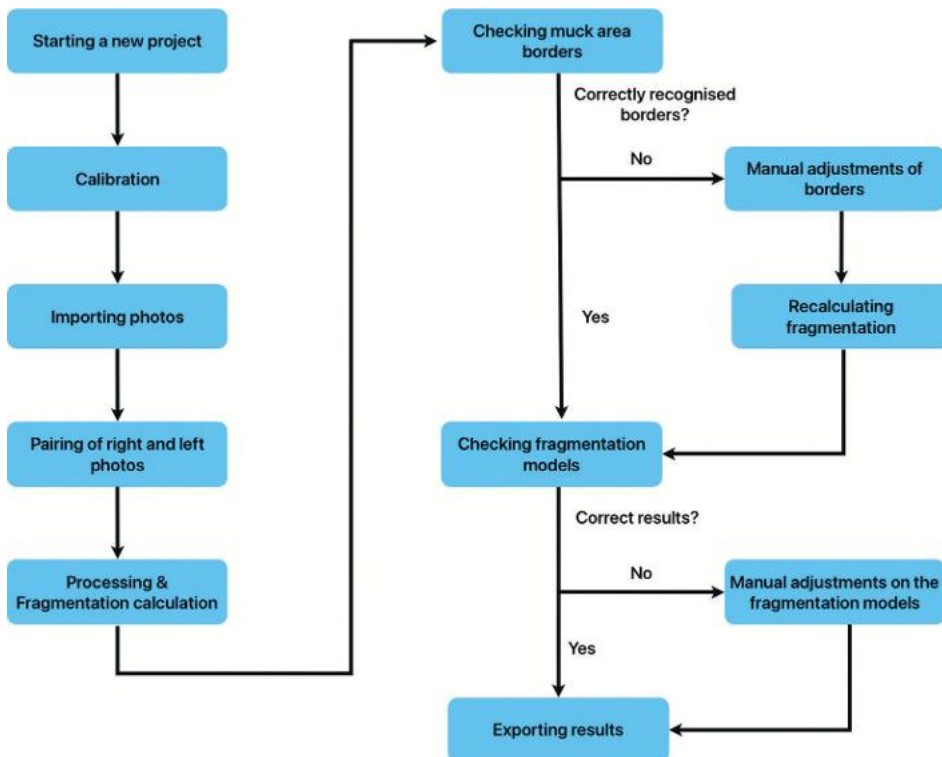


Figure 2. Flowchart of the workflow

issues. The common practice was to import photos from one folder into one project, leading to 50-60 buckets on average per project. Once imported, the photos are reconstructed (based on the principles described in section 4.2) and a 3D model of the bucket load is created.

During this stage, the area of the muck is delimited and fragmentation is automatically calculated. However, since the software is in beta version and several technical issues related to the data capturing can affect the results of this step, the muck area has to be adjusted manually. (Figure 3)

A new fragmentation is then calculated, which needs to be adjusted to eliminate false fusions, disintegrations and labelling mistakes. (Figure 4)

In Figure 4, the purple colour is used for the areas of fines (material less than 10 mm in size). The largest particles are white, and the colour changes through the warm spectrum towards black as the particles get smaller in size.

During the fragmentation analysis, manual corrections were needed mainly for larger particles, as these are often disintegrated and recognised as several small fragments. Incorrect fusion of small fragments was also noticed. In the case of areas covered by fines, these areas were often recognised as a large fragment or a number of small particles. The results with minimal needed adjustments have been noticed in the case of mid-sized fragments between the range of 10-40 cm. The same phenomena were mentioned by Stauder. [11].

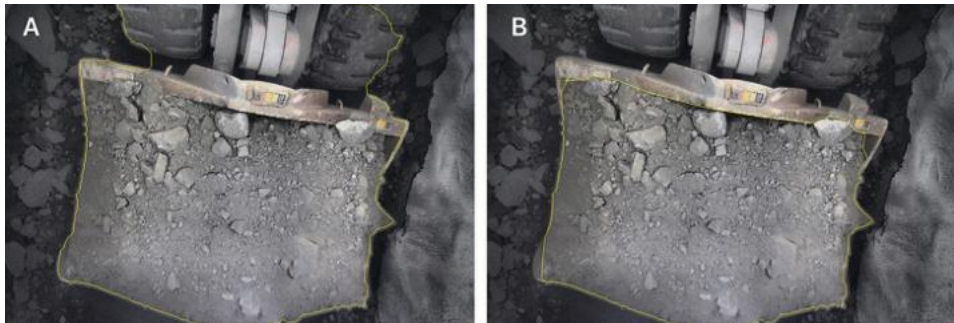


Figure 3. (A) Automatically delimited muck area; (B) Manually adjusted muck area

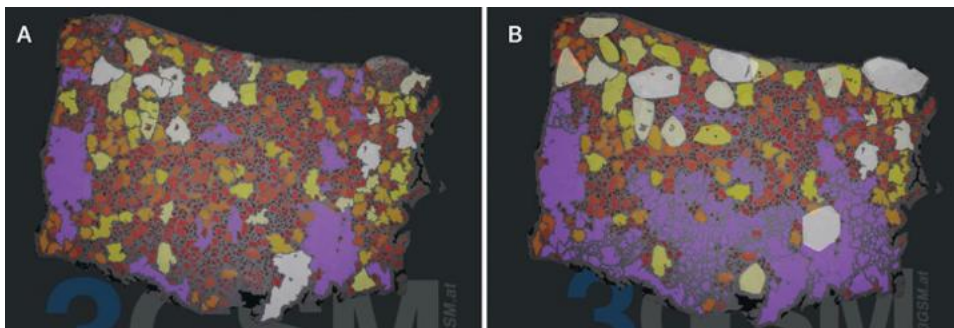


Figure 4. (A) Fragmentation after the muck area has been adjusted; (B) Manually adjusted fragmentation.

This is one possible reason why sometimes large boulders or areas covered by fines are misinterpreted, since the surface geometry cannot be flawlessly detected by the algorithm. After the initial analysis, the user can switch into a 2D view of the reconstructed model, where the manual adjustments can be performed. This includes changing the label of particles (fines, particles, border or void), merging and splitting of particles, drawing new particles or editing existing particles.

While other pieces of software are prone to overestimate the fragment size distribution (FSD), the CCR uses a sizing principle where the ellipsoids are fitted in 3D. Therefore, all three axes are determined and, for sizing, the software uses the minor and the intermediate axes, making the method comparable to physical sieving. [11]

Results

During the fragmentation analysis using the software, a total of 5029 bucket loads (25 tonnes per bucket load on average) have been analysed, equalling the daily production of the Kiruna mine. In drift 97, a total of six reference rings (RR) have been analysed, all initiated using the conventional system currently used by the mine. In drift 101, four rings were analysed, test rings TR37 and TR39, initiated using the nonelectric system, while RR31 and RR34 are reference rings, similarly to the rings in drift 97.

After exporting the *.xlsx files, the results can be compiled and viewed in different ways, depending on the focus of the analysis. Some examples are shown in Figure 5.

Graph A in Figure 5 shows the FSD curves. It can be seen how the test rings have a generally smaller overall fragmentation compared to the reference rings.

Graph B in Figure 5 shows the 20, 50 and 80% passing sizes. These are the sizes of the imaginary sieves on which 20, 50 and 80% of the extracted material would fall through. In the case of the two test rings, the x_{20} and x_{80} values represent the two lowest values, showing that the test rings initiated with nonelectric detonators are performing better than the reference rings. The x_{20} value of TR37 is zero, indicating that the analysed ring contained more than 20% of fines.

In graph C, while the fragmentation of the test rings is smaller and more optimal, the largest detected boulders are in the same size range in the test and reference rings. This suggests that while the boulder size does not decrease, the number of boulders is getting fewer (as proved by the data in graph D). Looking at the fines, it can be determined that the test rings produce more fines than the reference rings.

In graph D, the boulder count of the rings are compared. It has to be noted that these results should be viewed as orders of magnitude and not as precise numbers, especially in the case of B1. The smaller boulders can be easily covered by material in the buckets of the LHDs. However, this phenomenon happens in the case of every bucket, regardless of the initiation system used in the ring. The larger a boulder is, the less likely it will go unnoticed, and as it was noticed during the analysis, these boulders are usually picked up separately by the operators on top of the loaded buckets. The reference rings in all cases have a higher number of boulders in each category. This difference decreases as one moves up in the size categories of the boulders, however, the rings initiated using the nonelectric system always have fewer boulders.

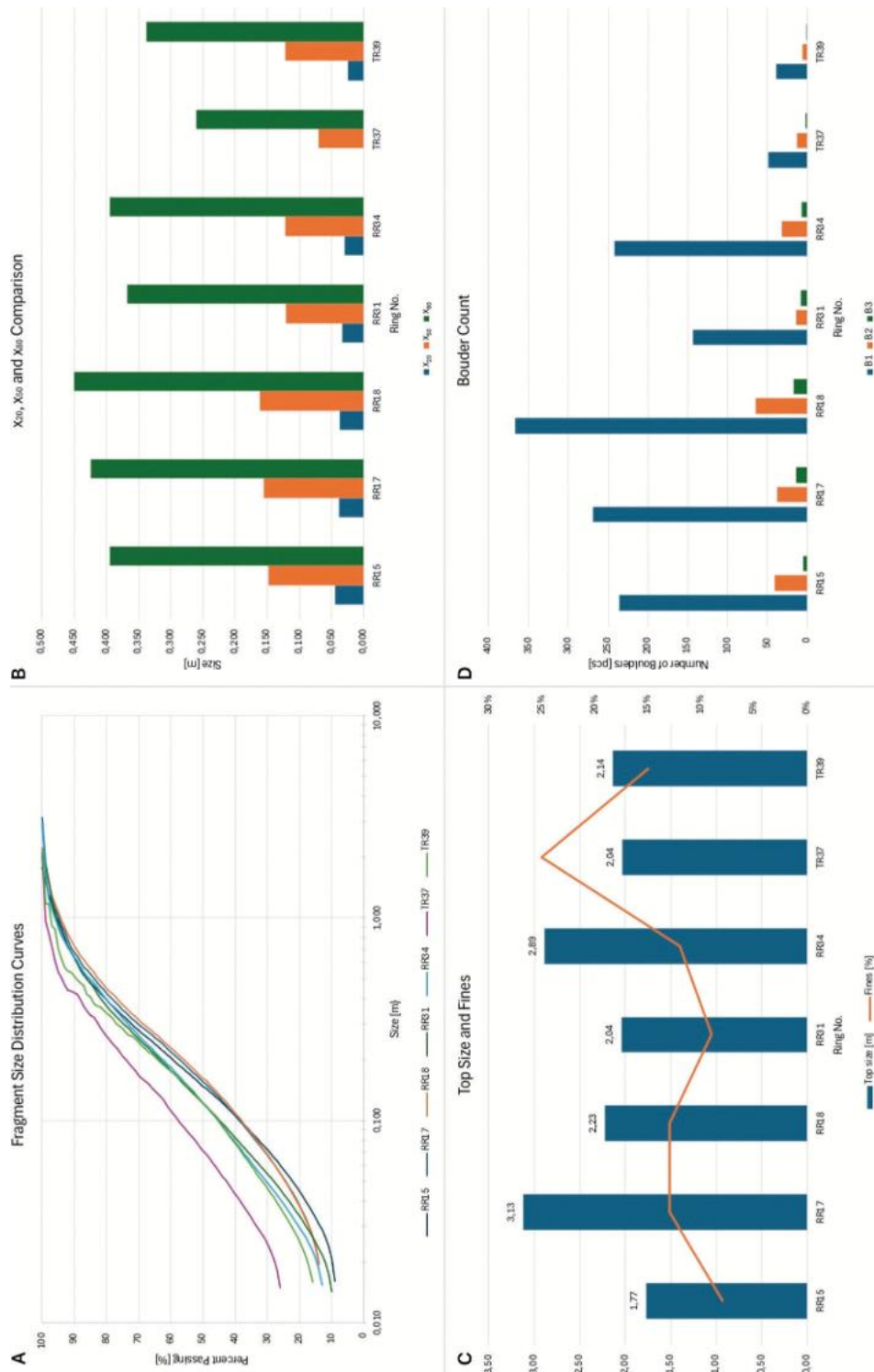


Figure 5. Results of the analysis based on the exported *.xlsx files. In graph D, B1 marks boulders between 0,6-1 m, B2 marks boulders between 1-1,5 m, while B3 marks boulders larger than 1,5 m

Table 1. Average results of x_{20} , x_{50} and x_{80} from the reference and test rings

	x_{20} [m]	x_{50} [m]	x_{80} [m]
Reference rings	0,037	0,142	0,406
Test rings	0,013	0,096	0,299
Improvement	65,5%	32,1%	26,3%

Table 2. Average results of boulder sizes from the reference and test rings

	B1 (0,6-1 m) [pcs]	B2 (1-1,5 m) [pcs]	B3 (>1,5 m) [pcs]	Sum [pcs]
Reference rings	251,4	38	10,2	299,6
Test rings	44	9,5	1,5	55
Improvement	82,5%	75%	85,3%	81,6%

To assess the performance of the initiation systems based on fragment size distribution, the results of the individual rings were averaged. In Table 1, the x_{20} , x_{50} and x_{80} percentiles from the averaged FSD curves are shown. The fragment sizes passing these particular percentages are smaller in the case of the test rings, initiated with the nonelectric system. At x_{20} , the decrease in fragment size is the most significant with a 65,5% improvement, followed by x_{50} with a 32,1% improvement. At x_{80} , the improvement is still significant, since the fragment size decreases by 26,3%.

In Table 2, the average number of boulders is compiled for the reference and test rings. The number of boulders in the rings initiated with the nonelectric detonators decreased by 81,6%, a significant improvement, proving the superiority of the nonelectric system over the currently used initiation system.

The results are not unexpected, since the nonelectric initiation system is based on the fact that the signal to fire is carried to the detonator in a shock tube, without any effect exerted onto the explosive column. The conventional system used currently in the mine, however, uses a detonating cord that initiates nonelectric detonators with a 60 cm long shock tube. Even though the detonating cord is low-grained, so it cannot initiate the emulsion in which it runs to the primers, it can be expected to be powerful enough to dead-press some of the emulsion surrounding it. The extent of the damage is unknown, but the results show a poor fragmentation, regardless of the rings, in the case of the conventional system. This can be explained by a decrease in the number of explosives available to exert the work on the rock mass.

Discussion

Recording and monitoring production can provide invaluable insights even by looking at the photos. Along with an initial perception of the fragmentation, operator habits can

also be observed. For example, by taking a look at the photos, the habit of the LHD operators picking up boulders on top of the fully loaded buckets or carrying few boulders together was noticed.

During the study, the CCR performed as intended, and the results show a clear distinction between the fragmentation of the test rings and the reference rings. Using the software, it was proven that the nonelectric initiation system performs better than the currently used system in the mine.

During the analysis, it was observed how the setup and the hardware affect the ability of the software to process the photos automatically in a reliable way. The more issues with the setup and hardware, the more manual input is required to compensate and obtain quality results. During the work, the time spent with manual corrections was typically 15-30 minutes, though a part of this time was due to the poor performance of the computer on which the software ran. This, however, defeats the purpose of the automatic fragmentation analysis, highlighting the importance of combining adequate hardware with know-how. To obtain a dataset that can be optimally processed by the software, it is more optimal to build a hardware that suits the software.

The main issues that necessitated an increased manual input:

- Low light conditions due to flash malfunctioning leading to failure of automatic 3D model reconstruction
- Low contrast environment, no features available for the software to recognise
- Dirty lenses leading to out-of-focus photos, impossible to be processed
- Cameras taking the bursts of photos too late/too early, or the speed of the LHDs was not as expected by the system setup

These issues can be eliminated by a camera station that is designed from the ground up specifically to facilitate the optimal performance of the software.

The CCR is a precursor to the commercially available FragMetriX, [12] which works with UAV and terrestrial photos as well. In the current study, camera stations were used to gather data about fragmentation. Both systems suit specific needs in fragmentation analysis at sites with different infrastructures. While the UAV photos can be more easily captured, the whole muck pile has a relatively low surface area compared to a camera station monitoring bucket loads or truck loads extracted from a muck pile. This can be compensated by several UAV recordings of the same muck pile as the extraction progresses over time, giving a more detailed result.

Therefore, in the case of a more remote surface operation with a mobile processing station, UAVs with automatic flight plans can provide detailed results while retaining flexibility in the data capturing. Furthermore, in the case of a large surface operation with a well-established production schedule and infrastructure, a camera station can also be an optimal choice. In the case of an underground operation, the superior choice would be a camera station, since it can be mounted on the roof of drifts near ore passes or intersections where loaders and trucks will pass with the ore. There is no optimised camera station available at the moment, however, a project has started to prepare one which can capture reliable data and facilitate the optimal performance of the FragMetriX software.

CONCLUSIONS

To analyse the fragmentation of the material loaded at the draw points in two nearby drifts in the sublevel caving Kiruna mine, a new software based on 3D image analysis was used on production scale. The aim to compare two initiation systems based on the results of the fragmentation analysis was achieved.

Photos were captured between the draw points and the ore passes, allowing for the best possible snapshot in time. 3D fragmentation analysis can be performed on a production scale from a fraction of the cost of sieving, and without disturbing production. The software was found to perform well. However, the main experience of the study was that the quality of the photos highly affects the performance, highlighting the importance of combining the right hardware with knowhow to obtain quality data. It is paramount to apply a hardware optimised for the software, as it can make the difference between a fully automated and a very labour-intensive analysis.

In total, 5029 bucket loads have been analysed. Seven rings were analysed, containing two test rings, initiated with nonelectric detonators, and five reference rings, initiated using the conventional system currently used in the mine.

On average, the number of boulders in the rings initiated with the test system was down by 81,6% compared to the reference rings. The x_{20} , x_{50} and x_{80} sizes were improved by 65,5%, 32,1% and 26,35%, respectively.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Gustafson Anna – Jonsson Kristina – Johansson Daniel – Schunnesson Håkan (2016): *From Face to Surface: A Fragmentation Study*. In: Proceedings of the Seventh International Conference and Exhibition on Mass Mining (MassMin 2016). Sydney, Australia, 9–11 May 2016. Melbourne: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy (AusIMM), pp. 555–562. ISBN: 978-1-925100-43-3. Online: <https://www.ausimm.com/publications/conference-proceedings/seventh-international-conference--exhibition-on-mass-mining-massmin-2016/from-face-to-surface---a-fragmentation-study/> (Letöltés: 2026. 07. 26.)
- [2] Power Gavin (2004): *Full Scale SLC Draw Trials at Ridgeway Gold Mine*. In: Karzulovic, Alberto – Alvaro, Mario (eds.): Proceedings of the Fourth International Conference and Exhibition on Mass Mining (MassMin 2004). Santiago, Chile, 22–25 August 2004. Santiago: Instituto de Ingenieros de Chile, pp. 225–230. Online: <https://www.powergeotechnical.com/consulting/publications/> (Letöltés: 2026. 07. 26.)
- [3] Zhang Zongxian (2005): *Increasing Ore Extraction by Changing Detonator Positions in LKAB Malmberget Mine*. *Fragblast – International Journal for Blasting and Fragmentation*. 9.(1). pp. 29–46. DOI: <https://doi.org/10.1080/13855140500082600>
- [4] Zhang Zongxian (2014): *Effect of Double-Primer Placement on Rock Fracture and Ore Recovery*. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 71. pp. 208–216. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2014.03.020>
- [5] Brunton I. D. – Fraser S. J. – Hodgkinson J. H. – Stewart P. C. (2010): *Parameters Influencing Full Scale Sublevel Caving Material Recovery at the Ridgeway Gold Mine*. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 47.(4). pp. 647–656. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2009.12.011>

- [6] Dunstan G. – Power G. (2011): *Sublevel Caving*. In: Darling, Peter (ed.): SME Mining Engineering Handbook. 3rd ed. Vol. 2. Englewood, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME), pp. 1417–1436. ISBN: 978-0-87335-264-2.
- [7] Thurley Matthew J. – Wimmer Matthias – Nordqvist Anders (2015): *Blast Fragmentation Measurement Based on Three-dimensional Imaging in Sublevel Caving Drawpoints and Underground Excavator Buckets at LKAB Kiruna*. In: Proceedings of the 11th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting (Fragblast 11). Sydney, Australia. Carlton, VIC: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy (AusIMM), pp. 763–774. ISBN: 978-1-925100-32-7.
- [8] Wimmer Matthias – Kangas Joel – Ouchterlony Finn (2008): *The Fragment Size Distribution of Kiruna Magnetite Loaded from a Draw Point – Evaluation and Analysis of a Full-Scale Test*. Swebrec Report 2008,P2. Luleå: Swedish Blasting Research Centre (Swebrec), Luleå University of Technology. ISSN: 1653-5006.
- [9] Righetti Edoardo (2014): *2D Fragmentation Analysis of Sublevel Caving Ring Blasts: Measurements Based on Front and Bucket Images Using Split-Desktop*. MSc Thesis. Trento: University of Trento (Università degli Studi di Trento). Online: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:2013370/FULLTEXT01.pdf>
- [10] Wimmer Matthias – Nordqvist Anders – Righetti Edoardo – Petropoulos Nikolaos – Thurley Matthew J. (2015): *Analysis of Rock Fragmentation and Its Effect on Gravity Flow at the Kiruna Sublevel Caving Mine*. In: Proceedings of the 11th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting (Fragblast 11). Sydney, Australia, 24–26 August 2015. Carlton, VIC: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy (AusIMM), pp. 775–791. ISBN: 978-1-925100-32-7.
- [11] Stauder Stefan (2018): *Behaviour of a Novel Algorithm for Fragmentation Analysis Based on 3D Images from Photogrammetry*. Master's Thesis. Graz: Graz University of Technology, Institute of Rock Mechanics and Tunnelling. 57 p.
- [12] 3GSM GmbH (2026): *FragMetriX*. Graz: 3GSM GmbH. Online: <https://3gsm.at/fragmetrix/> (Letöltés: 2026. 01. 21.)

RECENZIO

SZEMELVÉNYEK A MAGYAR ROBBANTÁSTECHNIKA FEJLŐDÉSTÖRTÉNETÉBŐL

Prof. Em. Dr. LUKÁCS László¹



A szerző műve összefoglaló ismereteket nyújt a hazai – ezen belül kiemelten a katonai – robbantástechnika szabályainak, módszereinek és eszközeinek fejlődéséről az 1800-as évek végétől napjainkig. A monográfia bevezetőjében az alábbi gondolatok olvashatók. „A katonai felsooktatásban 1979 óta robbantást oktató tanárként meggyőződése, hogy akkor alkalmazható igazán mesterialen egy-egy eljárás, módszer, ha nemcsak a végeredményként megfogalmazott szabályt, hanem annak kialakulását, fejlődését is ismerjük. Szakmai önbizalmunkat növeli, az egyes szabályok, eljárások, módszerek iránti bizalmat erősíti, ha bizonyítottnak látjuk ezek időtállóságát, a sok-sok éven keresztül folytatott elméleti kutatásokon és

a megszerzett gyakorlati tapasztalatokon nyugvó megalapozottságát.”

A könyvben a szerző fejlődésük vizsgálatán keresztül feldolgozta a magyar honvédségnél² alkalmazott katonai robbantástechnikai módszerek és eljárások legfontosabb kérdéseit. Ezen belül az éppen érvényes (szabályzatokban, utasításokban foglalt) előírások alakulásán keresztül bemutatta a rendszeresített robbantóanyagokat, a szerkezeti elemek, a föld és sziklás kőzetek, valamint egy komplex feladat, a hídrobbantás szabályainak, módszereinek a fejlődését. Külön fejezetben foglalta össze a hazai katonai robbantástechnika és a környezetvédelem kérdéseit. Megemlékezik a magyar ipari robbantástechnika elmúlt évtizedeiről is, legalább azoknak a robbantóanyagoknak a bemutatásával, melyeknek azóta a gyártó bázisai is megszűntek. Az utolsó fejezet olyan speciális robbantási munkákról nyújt ismereteket, mint a fémmegmunkáló robbantások, a jégrobbantás és a mezőgazdasági robbantások.

Az egyes fejezetek végén a szerző javaslatokat fogalmaz meg, a honi katonai robbantástechnika továbbfejlesztésnek lehetőségeivel kapcsolatban. Ugyanakkor a szakterület fejlődéstörténeti vizsgálata alapján a szerző bizonyítja: az eddig alkalmazott elveket nem kell „elfelejteni”, mert szervesen illeszkednek a robbantástechnika általános vonulatába,

¹ Nemzeti Köszolgálati Egyetem professor emeritusa, a hadtudomány kandidátusa, nyugalmazott tanszékvezető, egyetemi tanár, a Katonai Műszaki Doktori Iskola alapító oktatója és kutatója, a katonai robbantástechnika, a műszaki zárás, a humanitárius aknamentesítés, valamint a robbantásos cselekmények elleni védelem nemzetközileg elismert kutatója. E-mail: llukacs@gmail.com; ORCID: 0000-0001-8569-5013.

² A könyvben, a „magyar honvédség” alatt az a mindenkori, központilag szervezett fegyveres erő értendő (függetlenül annak éppen aktuális megnevezésétől), amelynek feladata az ország védelme volt.

mely az idők folyamán, empirikus úton szerzett ismeretekből kiindulva, a tudományos vizsgálatok eredményein nyugvó eljárásokká fejlődtek.

A gyakorlati robbantási tevékenységben éppúgy, mint a tudományos kutatásban jár-tas szakember által keretbe foglalt, Magyarországon még ilyen formában soha nem kö-zölt anyag értékes tárháza lehet a téma kutatóinak. Hasznos információkat nyújt az érin-tett civil, katonai, és rendvédelmi szakemberek részére, szakmai tanácsokat adhat a jelen kor aktuális problémáit (terrorista robbantások, környezetkímélő katonai robbantások, új robbantási technológiák katonai alkalmazása stb.) megoldani hivatott szervezetek mun-kájához is.

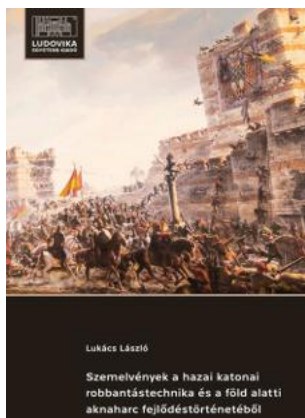
A mű emléket állít, a mindenkori magyar hadseregben a robbantástechnika kutatásá-val, fejlesztésével, a robbantás oktatásával, a képzéssel és a gyakorlati munkák kivitelezé-sével foglalkozó katonáknak, szakembereknek.

A Nemzeti Közszerológáti Egyetem pályázata alapján 2017-ben íródott alkotásokból, a pályázati kiírás szerint az egyetemnek nem lehetett bevétele. Ezért ez az anyag sem je-lenhetett meg nyomtatásban. A 339 oldalas, ezen belül 19 mellékletet tartalmazó művet az Egyetem térítésmentesen tette elérhetővé elektronikus formában: <https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/handle/20.500.12944/6916>

RECENZIO

SZEMELVÉNYEK A HAZAI KATONAI ROBBANTÁSTECHNIKA ÉS A FÖLDALATTI AKNAHARC FEJLŐDÉSTÖRTÉNETÉBŐL

Prof. Em. Dr. LUKÁCS László³



Az ipari robbantástechnika aktuális kérdéseit összefoglaló, a köznap forgalomban beszerezhető művek – bár nem nagy számban, de – koronként megjelentek a hazai szakkönyvkiadásban. A honi katonai robbantástechnika múltjának feldolgozásával, rendszerező áttekintésével és a továbbfejlesztés javasolt irányával is foglalkozó könyvet viszont Magyarországon még nem írtak. Ez változott meg 2017-ben, amikor a Nemzeti Közszolgálati Egyetem kiadta a szerző *Szemelvények a magyar robbantástechnika fejlődéstörténetéről* című könyvét.⁴ Ebben fejlődésük vizsgálatán keresztül feldolgozta a magyar honvédségnél⁵ alkalmazott katonai robbantástechnikai módszerek és eljárások legfontosabb kérdéseit.

Ennek a műnek, mintegy folytatásaként készült el a jelen kiadvány, amelynek első részében az előző könyvből kimaradt robbantási területek kerültek feldolgozásra: a mozgásakadályozás robbantással végrehajtható feladatai. Ezen belül az alkalmazott hazai katonai robbantóanyagok és a robbantási alapfeladatok tervezésének koronkénti összefoglalását követően, bemutatja az utak és műtárgyaik, a vasutak, a repülőterek és a hidrotechnikai létesítmények robbantási szabályainak fejlődését az 1800-as évektől napjainkig. Az első részt az építmények harcászati célú robbantási szabályai zárják. A szerző a szakterület e kérdéseinek fejlődéstörténeti vizsgálata alapján is bizonyítja az előző könyvben megfogalmazott állítását, mely szerint az eddig alkalmazott robbantási elveket nem kell „elfelejteni”, mert azok szervesen illeszkednek a robbantástechnika általános vonulatába, mely az idők folyamán, empirikus úton szerzett ismeretekből kiindulva, a tudományos vizsgálatok eredményein nyugvó eljárásokká fejlődtek.

A könyv második részében egy olyan robbantási területet vizsgál, mely ilyen formában még szintén nem került Magyarországon feldolgozásra: a földalatti aknaharcot. Ez volt történelmünk leghosszabb időn át alkalmazott eljárása az ellenség megerősített helyeinek elfoglalására, és ennek ellentettjeként, a védők hasonló válasza, az ellenaknák alkalmazása.

³ Nemzeti Közszolgálati Egyetem professor emeritusa, a hadtudomány kandidátusa, nyugalmazott tanszékvezető, egyetemi tanár, a Katonai Műszaki Doktori Iskola alapító oktatója és kutatója, a katonai robbantástechnika, a műszaki zárás, a humanitárius aknamentesítés, valamint a robbantásos cselekmények elleni védelem nemzetközileg elismert kutatója. E-mail: llukacs@gmail.com; ORCID: 0000-0001-8569-5013.

⁴ Letölthető a Közszolgálati Tudásportálról: <https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/handle/20.500.12944/6916>.

⁵ A könyvben, a „magyar honvédség” alatt azt a mindenkori, központilag szervezett fegyveres erőt érti a szerző (függetlenül annak éppen aktuális megnevezésétől), melynek feladata az ország védelme volt.

Az ókortól a középkoron át, az újkori csatákig egyaránt találkozunk vele. Csúcspontját az első világháború tömeges aknaharcai jelentették, az ellenség állásai alá ásott/fúrt aknák és a védők által ennek hatástalanítására készített ellenaknák révén. Mégis viszonylag keveset tudunk róla. A földalatti aknaharc történetéről, fejlődéséről szóló fejezet korról-korra bemutatja a támadók és a védők által alkalmazott technikákat és technológiákat az adott időszak aknaharccal foglalkozó hadtudományi értekezéseiből, műveiből vett idézetekkel és megtörtént csatákról szóló beszámolókkal.

A földalatti aknaharccal foglalkozó fejezet jelentőségét mutatja, hogy Amerikában csak 2025-ben jelent meg professor emeritus Earl J. Hess hasonló könyve, *A History of Military Mining in Siege Warfare* címmel.⁶ A rövid összefoglalóban az olvasható, hogy ez a mű az „első könyv terjedelmű tanulmány, amelyben a neves hadtörténész átfogóan tárgyalja a katonai földalatti aknaharc témáját a legkorábbi kezdetektől a huszonegyedik századig”.

A monográfia a Ludovika Egyetemi Kiadó gondozásában jelent meg, 576 oldal terjedelemben. ISBN: 978963531695-3

E-könyvként beszerezhető a Közszolgálati Tudásportálról:

<https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/handle/20.500.12944/102291>

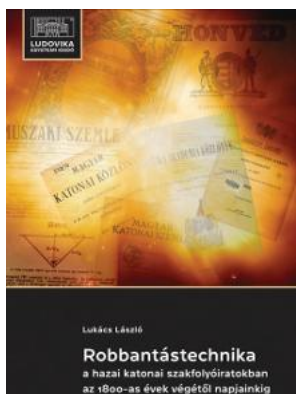
Nyomtatott formában megvásárolható a kiadó könyvesboltjában.

⁶ <https://kansaspress.ku.edu/9780700638413/>

RECENZIO

ROBBANTÁSTECHNIKA A HAZAI KATONAI SZAKFOLYÓIRATOKBAN AZ 1800-AS ÉVEK VÉGÉTŐL NAPJAINKIG

Prof. Em. Dr. LUKÁCS László⁷



„A mai műszaki katonai nemzedék, amely a jövőben a vezetésre hivatott, csak a múltból tanulhat. Aki pedig nem becsüli múltját, annak nincs jövője.” Jacobi Ágost utász ezredesnek, az első világháborúban harcoló magyar műszaki katonának emlékét állító 1938-ban megjelent könyvében⁸ olvasható mondatai voltak azok, melyek ennek, és az ezt megelőző két monográfiának a megírására ösztönözte a szerzőt.

Az előző két könyvében a hazai katonai robbantástechnika fejlődéstörténetét dolgozta fel, az éppen érvényes (szabályzatokban, utasításokban foglalt) előírások alakulását keresztül.⁹ A hazai katonai robbantástechnika múltjának összefoglaló bemutatásából, már csak egy adós-

sága maradt: *a katonai szakfolyóiratokban megjelent korabeli cikkek, tanulmányok feldolgozása.*

A legújabb kutatások és gyakorlati tapasztalatok eredményeivel mindig ezekben találkozhattak/találkozhatnak először a szakemberek. A legjelentősebb szakmai kérdések aztán – jó esetben – bekerültek az újabb szabályzatokba is, de talán ennél is nagyobb jelentőségű a kiadványoknál, az olvasóik hivatalos előírásokon túlmutató szakmai ismereteinek elmélyítése, a legújabb információk, tapasztalatok, kipróbált és bevált új módszerek bemutatásával.

A könyvben a szerző egy nagy történelmi kirándulásra invitálja az olvasót a hazai katonai szakfolyóiratokban megjelent, robbantástechnikával foglalkozó cikkek világába, az 1800-as évek végétől napjainkig. A magyar katonai szaknyelv hiánya jelentette a hazai szakfolyóiratok megjelenésének első akadályát. Az első fejezetben – többek között – erről is olvashatunk.

⁷ Nemzeti Közszolgálati Egyetem professor emeritusa, a hadtudomány kandidátusa, nyugalmazott tanszékvezető, egyetemi tanár, a Katonai Műszaki Doktori Iskola alapító oktatója és kutatója, a katonai robbantástechnika, a műszaki zárás, a humanitárius aknamekesítés, valamint a robbantásos cselekmények elleni védelem nemzetközileg elismert kutatója. E-mail: llukacs@gmail.com; ORCID: 0000-0001-8569-5013.

⁸ Jacobi Ágost: *A Magyar műszaki parancsnokságok, csapatok és alakulatok a világháborúban 1914–1918.* Közlekedési Nyomda K.F.T., Budapest, 1938, 13.

⁹ *Szemelvények a magyar robbantástechnika fejlődéstörténetéből* (Dialóg Campus, 2017); *Szemelvények a hazai katonai robbantástechnika és a földalatti aknaharc fejlődéstörténetéből* (Ludovika Egyetemi Könyvkiadó, 2023).

A további fejezetekben három alfejezetre bontva kerültek bemutatásra az adott témához kapcsolódó anyagok, amelyekben az 1945-ig, az 1945–1990 között és az 1990-től napjainkig megjelent cikkek között szemlézett a szerző. Három különböző társadalmi rendszer, három hadseregének robbantástechnikai történelme elevenedik meg ezekben a fejezetekben, az általa felállított szakmai rendszerezés szerint. Így olvashatunk a robbantóanyagokról, a robbanás irányított hatásáról, a szerkezeti elemek és építmények, továbbá a föld- és sziklás kőzetek robbantásáról szóló anyagokat. A könyv utolsó fejezete egy szakmailag látszólag „idegen” kérdéssel foglalkozik: a robbanás egészségügyi hatásaival foglalkozó cikkek bemutatásával. Az író azon véleménye tükröződik ebben, hogy a robbantástechnikával foglalkozó szakembereknek ismerniük kell úgy a robbanás során keletkező gázok mérgező hatását, mint a robbanóanyagok gyártása, kezelése, a velük történő munkavégzés során betartandó munkaegészségügyi kérdéseket. Ugyanígy fontos a robbanás emberi szervezetre gyakorolt hatásainak, a robbanás során keletkező sérülések megismerése, természetesen nem a sebész, hanem a parancsnok, a katonáiért felelős vezető szögéből.

A könyv a robbantástechnika kutatásával és fejlesztésével, a robbantás oktatásával, a kiképzéssel és a gyakorlati munkák kivitelezésével foglalkozó azon magyar műszaki katonáknak, szakembereknek kíván emléket állítani, akik értékes gondolataikat, eredményeiket a bemutatott szakfolyóiratokban osztották meg kortársaikkal.

A monográfia a Ludovika Egyetemi Kiadó gondozásában jelent meg, 432 oldal terjedelemben.

E-könyvként letölthető: <https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/handle/20.500.12944/101950> vagy nyomtatott formában megvásárolható a kiadó könyvesboltjában.

RECENZIO

MOZGÁSAKADÁLYOZÁS: ELVEK, MÓDSZEREK ÉS ESZKÖZÖK

Dr. KOVÁCS Zoltán Tibor¹⁰



A *Mozgásakadályozás: elvek, módszerek és eszközök* című kötet a katonai műszaki támogatás egyik meghatározó szakterületét dolgozza fel átfogó, rendszerszemléletű megközelítésben. A könyv célja, hogy összefoglalja a mozgásakadályozás elméleti alapjait, bemutassa a műszaki záruk és akadályok eszközrendszerét, valamint ismertesse azok tervezésének és alkalmazásának legfontosabb elveit a korszerű katonai műveletek során. A kötet a hazai katonai szakirodalomban hiánypótló jelleggel foglalja össze a műszaki támogatás e szakterületének alapvető ismereteit, figyelembe véve a NATO-doktrínák és a Magyar Honvédség műszaki támogatási rendszerének követelményeit.

A kiadvány három nagy szerkezeti egységre épül. Az első rész a mozgásakadályozás elméleti alapjait ismerteti, bemutatva a műszaki támogatás rendszerét, a műszaki záruk szerepét, valamint azok helyét a katonai műveletekben. A második fejezet részletes áttekintést ad a robbanó és nem robbanó műszaki zákról, azok típusairól, jellemzőiről és telepítésük eszközeiről. A harmadik rész a mozgásakadályozás gyakorlati megvalósítására koncentrál, ismertette a műszakizár-rendszerek felépítését, az aknamezők kialakításának alapelveit, a jelölési és nyilvántartási szabályokat, valamint a stabilizációs műveletek és a nemzetközi aknaegyezmények sajátosságait. A kötetet részletes bibliográfia, rövidítésjegyzék, valamint a műszaki alegységek képességeit és a rendszerített eszközök főbb adatait tartalmazó függelékek egészítik ki.

A könyv kiemelt figyelmet fordít arra, hogy a mozgásakadályozást ne önálló műszaki feladatként, hanem a katonai műveletek sikerét meghatározó egyik alapvető tényezőként mutassa be. Ennek megfelelően részletesen ismerteti a műszaki támogatás négy fő feladatcsoportját – a mozgástámogatást, a mozgásakadályozást, a túlélőképesség fokozását és az általános műszaki támogatást –, valamint azok egymáshoz való kapcsolódását. A kötet számos ábrával és szemléltető modellel segíti a különböző feladatok rendszerben történő értelmezését.

A mű egyik fontos sajátossága, hogy a hazai katonai gyakorlatot a NATO szabványosítási dokumentumaival és doktrínáival összhangban mutatja be. A szerző számos STANAG-előírással támaszkodva ismerteti a mozgásakadályozást, az átjárányítást, az aknamezést, a műszaki felderítést, a rombolási feladatokat és a műszaki záruk alkalmazásának alapelveit,

¹⁰ Egyetemi docens, Nemzeti Közszerződési Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Harctámogató Tanszék, a hadtudomány PhD. fokozatos. E-mail: kovacs.zoltan@uni-nke.hu; ORCID: 0000-0001-9098-1997.

ezáltal a könyv a katonai felsőoktatásban és a katonai szakmai továbbképzésekben egyaránt jól hasznosítható.

A kiadvány didaktikai felépítése lehetővé teszi, hogy tankönyvként, jegyzetként és szakmai kézikönyvként egyaránt alkalmazható legyen. A részletes fogalommagyarázatok, a logikusan felépített fejezetek, a szemléltető ábrák és a gyakorlati alkalmazást segítő függelékek hozzájárulnak ahhoz, hogy az olvasó átfogó képet kapjon a mozgásakadályozás teljes rendszeréről.

A kötet elsősorban a katonai felsőoktatás hallgatói, a műszaki csapatok állománya, a törzstisztek, valamint a hadtudományi kutatók számára készült, ugyanakkor hasznos szakirodalom lehet mindazok számára is, akik a katonai műszaki támogatás, a műszaki záruk és a mozgásakadályozás elméleti és gyakorlati kérdései iránt érdeklődnek. A könyv átfogó szemléletével, korszerű szakmai megközelítésével és rendszerezett ismeretanyagával értékes hozzájárulást jelent a magyar katonai műszaki szakirodalomhoz.

A *Mozgásakadályozás: elvek, módszerek és eszközök* című monográfia a Ludovika Egyetemi Kiadó gondozásában jelent meg 2022-ben, 141 oldal terjedelemben. A kiadvány elektronikus formában szabadon hozzáférhető a Nemzeti Közszoigálati Egyetem Tudásportálján, emellett nyomtatott változatban is elérhető a Ludovika Egyetemi Kiadó Könyvesboltjában. A kötet mind a katonai felsőoktatás, mind a Magyar Honvédség műszaki szakállománya, valamint a hadtudományi kutatások számára értékes és hosszú távon is jól hasznosítható szakirodalmi forrást jelent.

E-könyvként letölthető: <http://hdl.handle.net/20.500.12944/21617> vagy nyomtatott formában megvásárolható a kiadó könyvesboltjában.

ZÁRSZÓ

A tudományos konferenciák valódi értéke nem kizárólag az előadásokban vagy a megjelent tanulmányok számában mérhető. Sokkal inkább abban, hogy képesek-e közösséget építeni, új gondolatokat elindítani, valamint tartós szakmai kapcsolatokat kialakítani. Meggyőződésem, hogy a V. Fűrés–Robbantástechnika Nemzetközi Szimpózium ezt a küldetését ismét sikeresen teljesítette.

A robbantástechnika napjainkban olyan gyors technológiai változások közepette fejlődik, amelyek új megközelítéseket követelnek meg a kutatásban, az oktatásban és a gyakorlati alkalmazások során egyaránt. Az ipari robbantások, a bányászat, az építőipar, a robbanásvédelem, a katonai műszaki támogatás és a tűzszerészet közötti határvonalak egyre inkább összekapcsolódnak, miközben a digitalizáció és az innováció valamennyi szakterület fejlődésére meghatározó hatást gyakorol.

A Magyar Robbantástechnikai Egyesület számára kiemelten fontos, hogy fórumot biztosítson a különböző szakterületek képviselőinek találkozására, a legjobb hazai és nemzetközi gyakorlatok megismerésére, valamint a tudományos eredmények széles körű megosztására. Hisszük, hogy a tudás csak akkor válik valódi értékké, ha azt megosztjuk egymással, és közösen építjük tovább.

Ez a kötet ennek a közös munkának a kézzelfogható eredménye. Szerzői nem csupán saját kutatási eredményeiket mutatják be, hanem hozzájárulnak ahhoz is, hogy a robbantástechnikai szakma egésze felkészültebben reagálhasson a jövő kihívásaira. A publikációk jól szemléltetik, hogy a hagyományos mérnöki tudás és a modern technológiai innováció egymást erősítve képesek új megoldásokat létrehozni.

Köszönet illeti mindazokat, akik hozzájárultak a szimpózium és a jelen kiadvány megvalósításához: az előadókat, a szerzőket, a lektorokat, a szerkesztőket, a támogatószervezeteket és valamennyi résztvevőt. Külön köszönet illeti a Magyar Honvédség Transzformációs Parancsnokságát és a Magyar Hadtudományi Társaságot a szakmai együttműködésért, amely immár több éve biztos alapot teremt e rendezvénysorozat sikeréhez.

Bízom benne, hogy ez a kiadvány nem lezárása, hanem kiindulópontja lesz új kutatásoknak, új szakmai vitáknak és új együttműködéseknek. A robbantástechnika fejlődése mindig az innovációról, a felelősségről és a szakmai kiválóságról szól. Ezek az értékek vezetnek továbbra is közösségünket. Találkozzunk a következő szimpóziumon is, új eredményekkel, új tapasztalatokkal és ugyanazzal a közös elkötelezettséggel a szakma fejlődése iránt.

Jó szerencsét!

Szentendre, 2026. október 29.

Véghelyi Tibor

Magyar Robbantástechnikai Egyesület

elnök





HT PUBLIKÁLJ A HADITECHNIKÁBAN!

Írd velünk a legújabb számunkat!

TE LEHETSZ A KÖVETKEZŐ CIKKÜNK SZERZŐJE!

Korábbi számaink:



Doktoranduszok, hallgatók, oktatók és kutatók cikkeit várjuk
Magyarország egyik legrégebbi, 4000 példányban megjelenő haditechnikai szakfolyóiratába!

Miért érdemes nálunk publikálni?

-  **Kreditszerzési lehetőség**
-  **„A” kategóriás tudományos folyóirat**
-  **Független szakmai lektorálás**
-  **Megjelenés a haditechnikai szakmai közösség előtt**
-  **Szakmai előrelépés és publikációs tapasztalat**
-  **Szerzői honorárium**

Fotó: Képeszt László, Hírcs Túncs

MIRŐL ÍRATHATSZ?

- Haditechnika
- Katonai műszaki tudományok
- Haditechnika-történet
- Védelmi ipar
- Űrtechnika
- NATO és nemzetközi haditechnikai fejlesztések
- Hazai fejlesztések és kutatások
- Innováció és jövőtechnológiák

A kutatásod megérdemli a nyilvánosságot, mutasd meg a szakmai közösségnek!

Hogy lehet a Te cikkedből megjelent tanulmány?

- ▶ Küldd el rövid összefoglalódat!
- ▶ Szerkesztőségünk visszajelez egyeztetés után, hogy támogatja-e a témát.
- ▶ A megállapodás szerint elkészítod és benyújtod a kéziratot.
- ▶ Két független lektor bírálja a kéziratot.
- ▶ Cikked megjelenik a Haditechnika folyóiratban.
- ▶ Honoráriumban részesülsz.

ROVATAINK

- **Tanulmányok**
A folyóirat tudományos igényű főrovata. Eredeti kutatási eredmények, elemzések, fejlesztési tapasztalatok és átfogó szakmai összefoglalók.
- **Nemzetközi haditechnikai szemle**
Nemzetközi haditechnikai fejlesztések, fegyverrendszerek, hadművelleti tapasztalatok és védelmi ipari trendek bemutatása, elemzése.
- **Űrtechnika**
Az űrkutatás, az űripár, valamint a katonai vonatkozású űrtechnológiák eredményeinek, fejlesztéseinek és történeti előzményeinek bemutatása.
- **Hazai tükrő**
A magyar haderő, a hazai védelmi ipar, valamint a magyar haditechnikai fejlesztések, kutatások és alkalmazási tapasztalatok ismertetése, múltbeli és jelenkori példákon keresztül.
- **Haditechnika-történet**
A haditechnika fejlődése, fegyverrendszerek, katonai eszközök, technológiai megoldások vagy fejlesztési programok történeti feldolgozása.
- **Makett**
Haditechnikai eszköz makettje, építési leírás, mellé technikai kísérőszöveg (típus-történet, álcáfestés stb.).

AJÁNLOTT TÉMÁK

- **Drónhadviselés**
Százrészdrónok (támogató, szállító, aknarakó szerepkörben), a drónirányító központok működtetése.
- **Korszerű személyi védőfelszerelések és kommunikációs eszközök**
Súlycsökkentés, az okotechnológiák integrációja, sérülésérzékelés, exoskeletonok és kiterjesztett repeszvédelem.
- **A NATO keleti szárnya**
Az említett országok haditechnikája, felszereltsége, szerepe, különös tekintettel az újonnan csatlakozott államokra.
- **Az európai hadiipar helyzete**
Az európai lőszer- és fegyvergyártási kapacitások növelése, fejlesztések és irányok.
- **Dél-koreai technika Európában**
A K2 harcokci, a K9 önjáró löveg, a K10 lőszer szállító, a K239 sorozatvető és az FA-50 vadászpilóta.

HA VAN EGY JÓ TÉMÁD, KÜLD EL A RÖVID ÖSSZEFOGLALÓJÁT!

haditechnika@hmzrinyi.hu



„ROBBANTANI MINDENKI TUD,
AKI ÉRT HOZZÁ, AZ TÖBBSZÖR IS!”

Forrás: www.detonet.hu



AUSTIN POWDER

