



# MŰSZAKI KATONAI KÖZLÖNY

## Kiemelt közlemények

**KOVÁCS FERENC, HAJÓS BENCE:**  
*Meglévő közúti hidak teherbírási  
megfelelőségének értékelése  
honvédelmi szempontból a katonai célú  
közlekedésfejlesztési feladatok tükrében*

**BALLA TIBOR, PADÁNYI JÓZSEF:**  
*Műszaki kiválóságok:  
Kőszeghi-Mártony Károly*

**VÉGH KRISZTIÁN:**  
*A honvédelmi szempontból fontos  
infrastruktúrák drónvédelmének kérdései*

**35. évf. (2025)  
2. szám**

ISSN 2063-4986 (elektronikus)



**LUDOVIKA**  
EGYETEMI KIADÓ

## **Műszaki Katonai Közlöny**

A Nemzeti Közszerológati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kara, valamint a Magyar Hadtudományi Társaság Műszaki Szakosztályának elektronikus (online) megjelenésű tudományos folyóirata.

ISSN 2063-4986 (elektronikus)

### **Főszerkesztő**

Kovács Zoltán

### **Szerkesztőbizottság elnöke**

Padányi József

### **Szerkesztőbizottság**

Cibulová Klára

Daruka Norbert

Ember István

Hanka László

Hornyacsek Júlia

Horváth Tibor

Kovács Tibor

Kovács Zoltán

Kuti Rajmund

Lőrincz Árpád

Lukács László

Pavel Manas

Nagy Rudolf

Tóth Rudolf

### **Szerkesztőség címe**

Nemzeti Közszerológati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar  
Harctámogató Tanszék

1101 Budapest, Hungária krt. 9–11. A épület, 949. iroda

Levelezési cím: 1581 Budapest, Pf. 15

E-mail: [kovacs.zoltan@uni-nke.hu](mailto:kovacs.zoltan@uni-nke.hu)

Telefon: +36 1 432 9000/29 539 • HM 02-22-9539

### **Kiadó**

Nemzeti Közszerológati Egyetem Ludovika Egyetemi Kiadó

Kapcsolat: [www.ludovika.hu](http://www.ludovika.hu); [kiadvanyok@uni-nke.hu](mailto:kiadvanyok@uni-nke.hu)

1083 Budapest, Ludovika tér 2.

A kiadásért felel: Deli Gergely rektor

Olvasószekesztők: Csinta Áron, Gergely Zsuzsánna, Resofszi Ágnes

Tördelőszekesztő: Dobos Gergely



## Tartalom

Kovács Ferenc, Hajós Bence

Meglévő közúti hidak teherbírási megfelelőségének értékelése honvédelmi szempontból a katonai célú közlekedésfejlesztési feladatok tükrében .....5

Balla Tibor, Padányi József

Műszaki kiválóságok: Kőszeghi-Mártony Károly vezérőrnagy ..... 19

Végh Krisztián

A honvédelmi szempontból fontos infrastruktúrák drónvédelmének kérdései .....29

Horváth Zoltán

Az éghajlatváltozás hatásai az energetikai infrastruktúrákra –  
stratégiai szabályozók és szakpolitikák elemzése ..... 41

Horváth Krisztián

A lánctalpas futóművű járművek zaj- és rezgésszimulációja .....63

Brenda Dalma Barbara, Kanyó Ferenc, Horváth Galina, Vásárhelyi-Nagy Ildikó

A reakciókészség fejlesztése megkülönböztető jelzést használó  
gépjárművezetők körében BlazePod segítségével – 1. rész. ....73

Horváth István

A gammakitöréshosszúság-adatok vizsgálatának ellenőrzése  
a CGRO T50 időtartamok használatával .....97

Ondrejcsik László, Hábermayer Tamás, Révai Róbert, Vass Gyula

Az ITER nemzetközi mágneses fúziós kutatási-fejlesztési projekt bemutatása  
szervezeti és működési aspektusból .....107

Norbert Daruka, Kálmán Dénes, Zoltán Kovács, Róbert Vég, István Ember

Health Risks of Additive Manufacturing Technology ..... 117

Ádám Szabó

The Need to Develop a Standardised Audit Methodology  
for the Safety Management System .....133



Kovács Ferenc,<sup>1</sup>  Hajós Bence<sup>2</sup> 

# Meglévő közúti hidak teherbírási megfelelőségének értékelése honvédelmi szempontból a katonai célú közlekedésfejlesztési feladatok tükrében

## Assessing the Adequacy of Existing Road Bridges from a Defence Perspective in the Light of Military Transport Development Tasks

A fegyveres erők mobilitási igényét elemezve jól meghatározhatók a közlekedésfejlesztési igények. A közúti közlekedési alágazaton belül jól meghatározható csoportot alkotnak a közúti hidak, amelyek teherbírása korlátozást okozhat a katonai mozgások területén. A tanulmány bemutatja a 2004-ben katonai szempontból meghatározott elégtelen teherbírású hidakat. A 26 híd közül 17 hídnál feltárt hiányosság ma is változatlanul érvényes. A 17 hídszerkezetre elvégzett katonai teherbírasi besorolással lényegesen nagyobb teherbírás igazolható, mint a civil nyilvántartás szerint. A bemutatott példák igazolják, hogy szükséges a régi rossz hidak felújítása és erősítése, ugyanakkor jelentős előnnyel jár a katonai teherbírás-értékelés bevezetése a jelenkori minősítések szempontjából.

**Kulcsszavak:** infrastruktúra, kritikus katonai infrastruktúra, katonai mobilitás, közúti híd, teherbírás

*The mobility needs of the armed forces can be analysed to identify transport needs. Within the road transport sub-sector, there is a well-defined group of road bridges whose load capacity may be a limitation. The study presents the bridges with insufficient capacity identified in 2004 from a military point of view. The deficiencies identified for 17 of the 26 bridges are still valid today.*

<sup>1</sup> Címzetes egyetemi tanár; ügyvezető, Aktuál Mérnökiroda Kft., e-mail: [hunvirag@aktual-mki.hu](mailto:hunvirag@aktual-mki.hu)

<sup>2</sup> Doktori hallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola, e-mail: [elsolanchid@elsolanchid.hu](mailto:elsolanchid@elsolanchid.hu)

*The military load classification performed on the 17 bridge structures verifies a significantly higher load capacity than the civilian register. The examples presented demonstrate the need to renovate and strengthen old and poor bridges, while at the same time there are significant benefits to be gained from the introduction of military load classification.*

**Keywords:** *infrastructure, critical military infrastructure, military mobility, road bridge, load capacity*

## Bevezető

A teljeskörűen értelmezett védelem, a védelem polgári támogatása szempontjából ma is alapvetően szükséges a hazai infrastruktúra legfontosabb elemeinek és fejlesztési irányainak elemzése, a problémák megfogalmazása. Az ország infrastruktúrájának elemei közül a védelem szempontjából kiemelkedő szerep jut a közlekedésnek. Egy ország közlekedési hálózata, eszközparkja, a közlekedésben részt vevő szervezetei és a közlekedés rendszere alapvetően meghatározza a mobilitási képességét mind a gazdasági szereplőknek, mind a polgári lakosságnak. Mindezen felül a közlekedés pillanatnyi állapota befolyásolja a védelmi erők képességeit, akár veszélyeztetettségi vagy háborús körülmények, akár katasztrófhelyzetek közepette.

Az ország közlekedési infrastruktúrájával szemben támasztott védelmi követelmények ma már rendkívül összetettek, mivel a védelem fogalma is kiszélesedett napjainkban. Nemcsak katonai értelemben vett védelemről beszélünk, hanem a társadalom szempontjából szóba jöhető összes veszélyeztetettséggel szembeni védelmi képességről. Mindezt jól reprezentálják a kritikus infrastruktúra védelmére tett jogszabályi és gyakorlati intézkedések is. Ezenkívül, mivel Magyarország szövetségi rendszer tagja, így a szövetségi tagságunkból adódó védelmi, szövetségi kötelezettségeink is hatnak a védelmi követelmények összességére. A NATO katonai követelményeket fogalmaz meg a tagországok infrastruktúrája felé. Az elmúlt évtizedekben, években a környezetünkben lezajlott külpolitikai fejlemények érzékeltették Magyarországot számára, hogy milyen követelmények keletkeznek szövetségi tagságunkból, a hazai véderők és a szövetséges erők együttes mobilitási igényeiből. A Magyarország területén zajló nemzetközi gyakorlatok kicsiben, de szintén jellemzően példázják a közlekedési rendszerre háruló feladatokat.

A közlekedési rendszer védelmi igényeknek való megfelelőségét, képességeinek elemzését napjainkban különösen fontosá teszi számos tényező. A Magyar Honvédség (MH) átalakítása tovább növeli a polgári szférára háruló védelmi feladatokat. A korlátozott létszámú hivatásos és szerződéses hadsereg mellett a védelem számos paraméterében célirányosan előkészített polgári kapacitásokra kell majd támaszkodni a jövőben is. Magyarország hosszú távú közlekedéspolitikai koncepciójában meg kell jelennie a védelmi követelményeknek, az országvédelemmel, illetve hazánk nemzetközi kötelezettségeivel kapcsolatos feladatok végrehajtási irányelveinek, mint például a katasztrófhelyzetek kezelése, az európai kritikus infrastruktúra védelme vagy a befogadó nemzeti támogatás feladatrendszere. Erősíteni kell a honvédelmi érdekek érvényesítését, a katonai biztonsági stratégiában a közlekedés mint a védelmi potenciál egyik alkotóeleme kell hogy megjelenjen.

A katonai, a természeti katasztrófák elleni, a nemzetközi terrorizmus elleni stb. védelem a közlekedési rendszerre összetett követelményekkel jár. Vizsgálni és folyamatosan fejleszteni kell – közlekedési alágazatonként – a meglévő kapacitásokat, képességeket, és össze kell vetni a komplex követelményrendszerrel. Mindebből következik a kritikus katonai infrastruktúra kijelölése és védelmének, minőségének fejlesztése. A valós, meglévő képességek és a követelmények közötti különbség jelöli ki a védelem szempontjából fontos fejlesztési feladatokat. A védelemmel kapcsolatos követelményeknek be kell épülniük a közlekedéspolitikai alapelvekbe, konkrét fejlesztéseket meghatározva a közép- és hosszú távú fejlesztési tervekben, növelve ezzel a közlekedési ágazat védelemhez történő komplex hozzájárulását.

Jelen tanulmányunk alapja a közlekedési szakminisztérium részére hús esztendővel ezelőtt, 2004-ben készített átfogó közlekedésfejlesztési tanulmány,<sup>3</sup> amely részletesen elemezte mind a négy közlekedési alágazat (közúti, vasúti, vízi és légi) komplex megfelelését, mind a tranzit jellegű szállítási feladatokat, mind a két nagy katonai gyakorlótér közlekedési feltételeit. A tanulmány egyúttal azonosította a négy közlekedési alágazat hiányosságait, gyengeségeit, és konkrét fejlesztési feladatokat határozott meg.

Vizsgálatunkat az egymással is szorosan összefüggő közlekedési rendszerek egy elemére szűkítettük, elemzésünk tárgya a meglévő közúti hidak teherbírasi megfelelése. Áttekintjük a két évtizede készített katonai közlekedésfejlesztési tanulmányban nevesített elégtelen teherbírású hidakat, és megvizsgáljuk, hogy az azóta eltelt időszakban milyen fejlesztési eredmények valósultak meg. Bemutatjuk, hogy a hatályos STANAG 2021 katonai hídteherbírasi értékelési egyezmény<sup>4</sup> milyen teherbírasi osztályozási lehetőségeket tesz lehetővé a polgári üzemi hídteherbíráshoz viszonyítva, és ez hogyan javítja a katonai mobilitást.

## **A védelmi feladatok és a befogadó nemzeti támogatás feladatainak végrehajtásához szükséges közlekedésfejlesztési célok**

A fegyveres erők mobilitási igénye két feladatrendszerből tevődik össze: egyrészt a honi véderők feladataiból, másrészt a szövetséges erők mobilitási igényeiből. A szövetségi kötelezettségből származó közlekedési igények és követelmények megfogalmazódnak a NATO minden lényeges politikai és szakmai alapokmányában. A közlekedési, mobilitási feladatokat a szövetség soha nem katonai szervezetén belül oldja meg, minden esetben számít a tagállamok nemzeti infrastruktúrájának számításba vehető elemeire, és fel is használja azokat. A közlekedési rendszerrel szemben támasztott magas szintű igényt fejezi ki az is, hogy a szövetség számtalan szervezete foglalkozik e feladatokkal.

A védelmi és esetlegesen a katasztrófavédelmi feladatok, valamint a befogadó nemzeti támogatás feladatrendszeréhez tartozó közlekedési szolgáltatások végrehajtását adott esetben műszaki, gazdasági paraméterek korlátozzák, esetenként lehetetlenné teszik. Az egyes közlekedési alágazatok fejlesztési céljainál a védelem teljes körű értelmezéséből származó feladatokat is figyelembe kell venni. A honvédelmi, a nemzetközi katonai tevékenység szükségleteinek

<sup>3</sup> Kovács 2004.

<sup>4</sup> STANAG 2021. Military Load Classification of Bridges, Ferries, Rafts and Vehicles 2024; AEP-3.12.1.5.

biztosítása – méretei és költségigénye miatt – olyan jelentős erőfeszítéseket igényel, hogy egyetlen ország – így Magyarország sem – képes teljesen különálló békeidőszaki és háborús infrastruktúra kiépítésére. Ezért a megvalósítás legcélszerűbb formája az adott béke-infrastruktúra (polgári igények szerint kiépített) olyan irányú fejlesztése kell hogy legyen, amely megfelel a védelmi és a szűken értelmezett katonai követelményeknek is. Ezért fontos, hogy meghatározzuk azokat a főbb követelményeket, amelyek az ország védelme, nemzetközi kötelezettségeinek teljesítése érdekében a közlekedési rendszerre hárulnak.

A követelményeknek olyanoknak kell lenniük, hogy az ország közlekedési rendszere biztosítsa az országon belül a Magyar Honvédség (MH) csapatainak bármely veszélyeztetett irányba történő gyors átcsoportosítását, a szövetséges csapatok átvonulásának, illetve egy meghatározott nagyságrendű csapatkontingens befogadásának közlekedési igényeit, az anyagi készletek decentralizálását és a működő csapatokhoz közelítését. Biztosítsa az MH és a szövetséges csapatok anyagszükségleteinek utánszállítását, a hadigazdaság szállítási szükségleteit, az ország működőképességéhez szükséges közlekedési és szállítási igények kielégítését és a lakosság ellátásával, szükség esetén a veszélyeztetett területek kiürítésével kapcsolatos kapacitásokat.

A védelmi erők közlekedési útvonalainak elemzése felszínre hozza a közúti infrastruktúra kritikus pontjait, azokat az elégtelen kapacitású hálózati elemeket, amelyek fejlesztése, kiváltása a védelmi képesség fenntartása és növelése szempontjából elengedhetetlen. A közlekedéspolitikai különös prioritást ad a gyorsforgalmi úthálózat fejlesztésének, amely a legjelentősebb hozzájárulás a védelmi erők mobilitásának javításához. Ezt a közlekedéspolitikai célt jól tükrözik az elmúlt két évtized megvalósult fejlesztései.

Kiemelt fejlesztési feladatként kell kezelni a mobilitási képesség növelését és a katonai szállítási, közlekedési infrastruktúra fejlesztését. Mindez alapvetően polgáriinfrastruktúra-elemekre épül, tehát ezek fejlesztésénél a katonai követelményeket kiemelt figyelemmel kell kezelni és beépíteni az egységes követelményrendszerbe.

A közúti közlekedés területén fontos követelményként fogalmazódik meg, hogy az országos közúthálózat tegye lehetővé az ország valamennyi részének, tájegységének, régiójának folyamatos kapcsolatát a többi tájegységgel a minimálisan szükséges mennyiségű utakkal, a megyeszékhelyek és nagyobb városok kapcsolatát a fővárossal és egymással gyorsforgalmi úton, valamint a nemzetközi közúti forgalom fenntartását valamennyi szomszédos országgal legalább egy, a közép-európai térség számára is fontos irányban.

Az országrészeket, tájegységeket elválasztó nagyobb folyókon, Magyarország esetében elsősorban a Dunán, másodsorban a Tiszán lévő közúti hidak rongálódása, üzemképtelenné válása esetére biztosítani szükséges az azok kiváltását szolgáló tartalék- és szükségátkelőhelyek kijelölését, előkészítését, illetve dublőr hídátkelőhely létesítését.

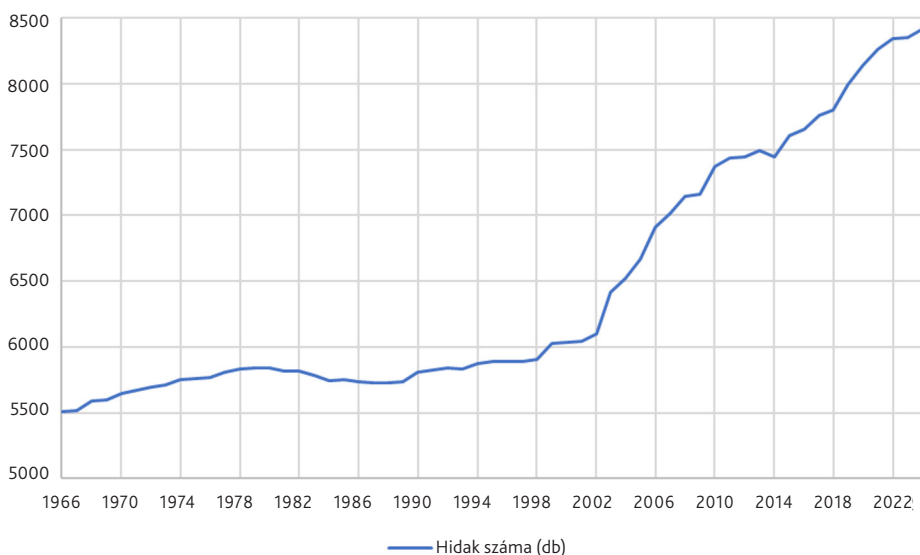
A nemzetközi közúti forgalom számára kijelölt, valamint a minősített időszakban fenn tartandó már meglévő országos közutakon, továbbá az újonnan megépült és épülő autópályákon és országos főútvonalakon, városi elkerülő szakaszokon – összhangban a polgári közlekedési igényekkel – létesítendő hidak a hatályos műszaki előírás szerinti „A”-jelű (80

tonnás) terhelési osztálynak<sup>5</sup> feleljenek meg. Az új vagy átépítésre tervezett, illetve a kijelölt kerülőutak teherbírása viselje el a nagy raksúlyú, nehéz járművek forgalomintenzitásából adódó változó – adott esetben fokozott – terhelést, és pályaszélessége tegye lehetővé a biztonságos kétirányú forgalmat.

Új hidak esetében mind a katonai, mind a civil közlekedési igények indokoltta teszik lényegében minden országos közúti híd esetében az „A” teherbírást.<sup>6</sup> Ezt alátámasztja az elmúlt két évtized magyarországi hídépítési gyakorlata is, ugyanis néhány jelentéktelen kivételtől eltekintve (például földúti híd) minden új híd erőtani méretezését „A” teherbírásra végezték.

## Megvalósult közlekedésfejlesztések 2004 és 2024 között

Az országos közúthálózaton 2004-ben 6525 híd, 2024-ben 8421 híd állt, beleértve az országos közút kezelésében lévő 137 db kerékpáros és gyalogos hidat is. A jelentős állománygyarapodás (1896 híd 20 év alatt, azaz évente 95 híd) oka dominánsan a gyorsforgalmi úthálózat fejlesztése. Az autópályák, autóutak és elkerülő útszakaszok 2000-es években elindult nagy ütemű építésének hatását tükrözi a hidak számának 1966 és 2024 közötti növekedését ábrázoló grafikon (1. ábra).



1. ábra: Az országos közúti hidak száma 1966-tól 2024-ig

Forrás: a szerzők szerkesztése

<sup>5</sup> e-UT 07.01.12:2011.

<sup>6</sup> HAJÓS 2024.

A vizsgált két évtizedben épült meg az M0 Budapest körüli körgyűrű keleti és északi szektora, az M15 autópálya keresztmetszettel, az M3 Görbeháza és Vásárosnamény közötti szakasza, az M5 Kiskunfélegyháza és az országhatár közötti szakasza, az M31, az M30, az M35, az M4, az M44, az M6, az M60, az M70, az M80, az M8, az M85, az M86, az M9 út, illetve történt meg az M2, valamint az M7 Zamárdi és országhatár közötti szakasza és a régi részek fejlesztése.

A vizsgált időszakban öt új közúti Duna-híd épült, de jelenleg is építés alatt van egy Duna-híd (Mohács). Hasonló arányban épültek új Tisza-hidak is, ideértve a korszerű paraméterekkel teljesen átépített vásárosnaményi II. Rákóczi Ferenc Tisza-hidat is. A nagyszámú új híd mellett igen kevés meglévő híd épült át, ami a közúti hídállomány öregedését okozza.

A tanulmányban<sup>7</sup> vizsgált közlekedési útirányok és az azokon fekvő azonosított elégtelen teherbírású hidak kezelése a jelentős gyorsforgalmihálózat-bővülés mellett is fontos feladat. A megépült gyorsforgalmi útszakaszok közül jelentős párhuzamosság egyetlen hídnál (szik-szói Vadász-patak-híd) figyelhető meg, de ebben az esetben is indokolt az egy számjegyű, elsőrendű főúton lévő hídkorlátozás felszámolása, ezzel az időközben megépült M30 melletti másodlagos útvonal biztosítása.

## A meglévő közúti hidak teherbírása

A közúti átbocsátó képesség műszaki jellemzői közül a hidak teherbírása a legkritikusabb tényező.

Az elégtelen, illetve kis teherbírású hidak jelentik a legsúlyosabb akadályt a védelmi erők közúti mozgása szempontjából. Az országos közúti hídállomány mintegy 8284 hídja közül csupán 4585 híd (55%) „A” teherbírású, azaz 80 tonna névleges terhelhetőségű. (A megadott számok az önálló kerékpárúti, illetve gyalogos hidakat nem tartalmazzák.) Ez az adat azért figyelemre méltó, mert a NATO-ban és a Magyar Honvédségnél rendszeresített tipikus nehéz járművek, legfőként a harckocsi, illetve a nehéz konténert, eszközt szállító járműszerelvények biztonsággal csak „A” teherbírású hídon haladhatnak át.

Katonai mobilitás szempontjából, mint láttuk, ideális és szükséges az „A” teherbírású híd, korlátozásokkal járnak a 40 tonna teherbírású hidak, de a legkritikusabbak kétségkívül az ennél is kisebb teherbírású hidak, amelyeknél korlátozó táblákat is ki kell helyezni a civil forgalom számára. Az országos közúthálózaton 2024-ben összesen 325 kis teherbírású (32 tonnás vagy annál kisebb terhelhetőségű) híd volt (az országos állomány 4%-a), amelyeken az egyébként korlátozás nélkül közlekedő (40 tonna össztömeg határon belüli) járművek nem haladhatnak át. Az áthaladási tilalmat ezeken a helyeken súlykorlátozó tábla jelzi.

Húsz esztendővel ezelőtt ugyanezen legkritikusabb csoportba 368 híd tartozott. Azaz két évtized alatt csupán 43 híd erősítése vagy átépítése történt meg ebben a fontos csoportban. Ráadásul meg kell jegyeznünk, hogy a kis teherbírású hidak jellemzően régebbi építésű és kisebb szerkezetek, legnagyobb nyílásuk átlagos értéke 11 m – azaz ezek átépítése, erősítése jellemzően nem jelentene kiemelkedő költséget. Tipikus példa arra, amikor a katonai követelményeket érvényesíteni kellene az infrastruktúra fejlesztése, fenntartása során.

<sup>7</sup> Kovács 2004.

1. táblázat: 2004-ben nevesített hiderősítési igények

| Ssz. | Útszám | Szelvény  | Törzsszám | A híd neve                                | Korlátozás |
|------|--------|-----------|-----------|-------------------------------------------|------------|
| 1    | 3      | 202+723   | 1114      | Szicszói Vadász-patak-híd                 | 40 tonna   |
| 2    | 6      | 139+825/2 | 1220/2    | Szekszárdi régi Sió-híd                   | 40 tonna   |
| 3    | 8      | 178+416   | 1391      | Rátóti vasút feletti híd                  | 20 tonna   |
| 4    | 52     | 58+621    | 1966      | Solti Kis-Duna-híd                        | 40 tonna   |
| 5    | 61     | 43+395    | 8409      | Pincehelyi Kapos-híd                      | 20 tonna   |
| 6    | 66     | 54+073    | 2683      | Sántosi Kapos-híd                         | 40 tonna   |
| 7    | 66     | 27+111    | 2134      | Sásdi Baranya-csatorna-híd                | 40 tonna   |
| 8    | 68     | 25+570    | 2165      | Lábodi Rinya-híd                          | 40 tonna   |
| 9    | 75     | 62+604    | 2276      | Lenti Kerka-patak-híd                     | 32 tonna   |
| 10   | 75     | 61+940    | 2274      | Lenti 2. Kerka-ártéri-híd                 | 32 tonna   |
| 11   | 441    | 2+771     | 2501      | Ceglédi Gerje-csatorna-híd                | 40 tonna   |
| 12   | 4603   | 11+998    | 4292      | M5 feletti híd az ócsai csomópontban      | 40 tonna   |
| 13   | 7453   | 1+174     | 5332      | Őrszentpéteri Zala-híd                    | 40 tonna   |
| 14   | 8209   | 4+685     | 5627      | Balinkai malomcsatornahíd                 | 40 tonna   |
| 15   | 8209   | 8+206     | 5630      | Balinkai-ér-híd                           | 40 tonna   |
| 16   | 8212   | 2+535     | 5635      | Fehérvárcsurgói Gaja-patak-híd            | 40 tonna   |
| 17   | 8212   | 4+614     | 5634      | Fehérvárcsurgói Isztimér-vízfolyás-híd    | 40 tonna   |
| 18   | 8212   | 8+575     | 5633      | A bakonykúti időszakos vízfolyás hídja    | 40 tonna   |
| 19   | 8213   | 15+426    | 5638      | Jásdi elágazó előtti Gaja-patak-híd       | 40 tonna   |
| 20   | 8214   | 5+368     | 5641      | Hajmáskéri Ér-patak-híd                   | 32 tonna   |
| 21   | 8215   | 0+503     | 5643      | A Séd-patak Hajmáskér előtti ártéri hídja | 32 tonna   |
| 22   | 8216   | 16+519    | 5645      | Szápári-ér feletti híd                    | 40 tonna   |
| 23   | 8301   | 25+785    | 5696      | Huszárokölöpusztai Gerence-patak-híd      | 40 tonna   |
| 24   | 8301   | 26+860    | 5697      | Bakonykoppányi Gerence-mellékág-híd       | 40 tonna   |
| 25   | 8301   | 29+217    | 5698      | Bakonykoppányi Gerence-patak-híd          | 20 tonna   |
| 26   | 8302   | 0+859     | 5701      | Pápai Bakony-ér-híd                       | 40 tonna   |

Forrás: a szerzők szerkesztése

## 2004-ben javasolt hídfejlesztési feladatok

A közlekedési szakminisztérium részére készített 2004. évi tanulmányban<sup>8</sup> összesen 26 hídfejlesztési feladat volt nevesítve (1. táblázat) mint kiemelt katonai hídteherbírás-javítási igény. Fontos hangsúlyozni, hogy ezen hidak elégtelen teherbírása mindegyik esetben egyúttal a civil közlekedésnek is akadályt jelentett, így ezek erősítése éppen annyira civil prioritásnak tekinthető, mint katonai prioritásnak. A megadott 26 hídfejlesztési igény közül 3 híd teherbírása volt 20 tonna, 4 híd teherbírása 32 tonna, a többi szerkezeté 40 tonna. 11 híd (42%) volt főúton, a többi összekötő úton.

## Megvalósult fejlesztések (2004–2024)

A megadott 26 híd közül 2004-ben a legsúlyosabb forgalmi akadályként a 75. számú főút Kerka-hídja lett azonosítva. A főút Lenti központi településrésze és Mumor településrésze között a Kerka völgyében összesen öt elégtelen teherbírású hídon haladt keresztül, amelyek közül két nagyobb nyílású hídon 32 tonna súlykorlátozás volt 2004-ben érvényben. 2018-ban és 2022-ben átépült a két 32 tonna korlátozást okozó Kerka-híd és Kerka-ártéri híd, így a szlovén határhoz vezető 75. számú főúton mára megszűnt a súlykorlátozás.

A 61. sz. főút pincehelyi Kapos-hídja már 2004-ben is akut erősítési igényként szerepelt. Az 1949-ben megépült hidat Ecker Viktor és Veres Endre tervezte. Ez a híd statikai szempontból elég ritkán alkalmazott lemezkeret volt a hídfők mögött stabilizáló ellensúlyszekrényekkel. Később a híd állapota tovább romlott, további korlátozásokat is bevezettek (16 tonnára és egy kocsiomra szűkítés), míg végül csak 2021-ben épült át teljesen. Az átépítéshez kapcsolódó érdekesség, hogy az elégtelen teherbírású és keskeny híd bontásának és építésének idejére ideiglenes hídra volt szükség, amelyet rövid terelőúton a MH 37. II. Rákóczi Ferenc Műszaki Ezred készített el honvédségi moduláris MABEY hídelemekből (2. ábra).<sup>9</sup>



2. ábra: A pincehelyi Kapos-híd átépítéséhez használt katonai provizórium

Forrás: POLÓNYI 2022

<sup>8</sup> KOVÁCS 2004.

<sup>9</sup> GÁBRIEL 2022.

A 8. számú főút teherbírasi szűkülete volt a rátóti vasút feletti híd. Az 1937-ben épült monolit vasbeton bordás lemezhidat szerkezetileg folytatólagos, négynyílású szerkezet. A híd 2004-ben 20 tonnás teherbírasi akadályt képezett. Ezzel igen rangos helyen állt a híd az elsőrendű főutak szégyenlistáján. Sokévi műszaki előkészítés és tervezés után 2016-ban fejeződött be a híd erősítése, szélesítése – a régi szerkezeti részek jelentős visszabontásával, javításával.<sup>10</sup> Ma a híd korlátozás nélküli „A” teherbírású, de bizonyosan egészségesebb és tartósabb megoldást jelentett volna a híd teljes szanálása és új híd építése.

A tanulmány teherbírasi szűkületként azonosította a 66. számú főút sántosi Kapos-hídját is. 2002-ben Kaposvár új elkerülő utat kapott, s ennek részeként módosították a 66. számú főút nyomvonalát, és a régi hídtól keletre új Kapos-híd épült, természetesen „A” teherbírással, így ezzel megszűnt a főúton a teherbírasi szűkület.

A Bakonybél és Bakonykoppány közötti úton három egymást követő hídszerkezet is szerepel a tanulmányban. Ahhoz, hogy az útszakasz teherbírása érdemben javuljon, mindhárom híd erősítése szükséges. A vizsgált két évtized alatt a háromból két akadály megszűnt, de a harmadik (Bakonykoppány utáni Gerenc-patak-híd) a mai napig 20 tonna korlátozású, így a két megerősített hídnak ma még nincs hálózati haszna. Ezen az útszakaszon hullámosított acéllemez csőszerkezetté épült át a huszárokelőpusztai Gerence-híd, s áteresszé épült át a bakonykoppányi Gerence-mellékág-híd.

Bár nem megvalósult fejlesztés, de itt kell megemlíteni két hidat a 2004. évi javaslat-csomagból, amelyekhez nem kapcsolódott beavatkozás, hanem a 2004. évi nyilvántartási hiányosságok javítása elegendő volt a szükséges teherbírás igazolására.

A 4603 jelű összekötő út Üllő és Ócsa között keresztezi az M5 autópályát az ócsai csomópontban. Az itt található külön szintű csomóponti műtárgy tévesen korábban 40 tonnás teherbírassal szerepelt a nyilvántartásokban, noha „A” teherbírassal épült meg 1981-ben.

Szintén téves nyilvántartás miatt került be korábban a javasolt beavatkozások közé a 68. számú főút lábodi Rinya-hídja mint 40 tonnás teherbírású szerkezet. Valójában néhány évvel korábban, 1996-ban ezt a hidat teljesen átépítették, és az új előregyártott vasbeton hídgerendás szerkezet már „A” teherbírassal épült meg, csak a nyilvántartásban hibásan szerepelt.

Összesítve a 2004. évi javaslatcsomagban nevesített 26 teherbírasihiányos közúti híd közül az eltelt időszakban összesen 9 híd teherbírasi elégtelensége oldódott meg átépítéssel, erősítéssel és nyilvántartási hiba korrigálásával. Ezek közül 7 főúthálózati szerkezet (ideszámolva az M5 autópálya feletti csomóponti műtárgyat is). Sajnos a mellékutakon lévő hídszerkezetekre lényegesen kevesebb forrás jut, mint amennyi akár civil, akár katonai közlekedésfejlesztési szempontból minimálisan szükséges volna.

## Továbbra is aktuális fejlesztési igények

A második legkritikusabbnak azonosított híd az 52. számú főúton Solt és Dunaföldvár között álló solti Kis-Duna-híd volt. Az egynyílású, 80 m támaszközü alsópályás rácsos acélhidat 40 tonna teherbírású, ezért a dunaföldvári Duna-hidat annak felújítása és elégséges teherbírása ellenére

<sup>10</sup> CSEPIN 2014.

nem tudják a nehéz szállítmányok igénybe venni. Annak ellenére van így, hogy a hadsereg nehéztechnikájának nyugat–keleti mozgatása szempontjából lényeges közlekedési elem esik ki. Kis kapacitáshiányt okoz a 6. számú főút szekszárdi régi Sió-hídja 40 tonna teherbírással, mert a déli irányba haladó forgalmi sávokat átvezető, párhuzamosan mellé épített új hídszerkezet teherbírása már „A” jelű.

A ma is aktuális fejlesztési javaslatok között még nagyobb hídszerkezet a szikszói Vadász-patak-híd. A 25 m nyílású, kéttámaszú rácsos acél gerendahíd Szikszó város belterületén található. A 2021-ben megépült M30 autópálya korszerű, súlykorlátozás nélküli párhuzamos útvonalat képez, de mint másodlagos nyomvonal továbbra is indokolt e híd erősítése, fejlesztése.

A továbbra is aktuális beruházási igények közül mindenképp említést érdemel a Bakonykoppány utáni Gerence-patak-híd. A 2004-ben megfogalmazott tanulmány már folyamatban lévő átépítésről számolt be, azonban sajnos ez a mai napig nem valósult meg. Ugyan hídtervek készültek, a híd átépítése többször is majdnem elkezdődött, de csak konzerváló beavatkozások valósultak végül meg, s maradt az össztömeg-korlátozás, amely jelenleg 22 tonna (3. ábra).



3. ábra: A Bakonykoppány utáni Gerence-patak-híd napjainkban

Forrás: a Magyar Közút Nonprofit Zrt. felvétele

A nevesített többi elégtelen teherbírásu híd mind kis nyílású, 10 híd nyílása nem éri el a 10 m-t sem. Szerkezeti rendszerüket tekintve a többség monolit vasbeton lemez, de van közöttük utófeszített vasbeton, acél gerendával együtt dolgozó öszvérszerkezet és boltozat is.

A vizsgált hidak STANAG 2021 szerinti teherbírás-értékelése

A közúti hidak katonai teherbírás-értékelése többféle számítási részletezettséggel végezhető a becsléstől a részletes és egyedi statikai elemzésig.<sup>11</sup> Gyors és kellően megbízható katonai teherbírás-besorolást nyerhetünk a hídszerkezet civil teherbírásértékéből kiindulva, figyelembe véve a híd főbb paramétereit (szerkezeti rendszer, támaszköz, szélesség). Ezen paraméterek függvényében általános érvényű besorolási szabályokat alkothatunk, ami gyors katonai teherbírás-besorolást biztosít.<sup>12</sup>

A tanulmányban<sup>13</sup> lévő és ma is aktuális teherbírasi elégtelenséget mutató hidaknak ilusztrációs céllal elvégeztük ezt az egyszerűsített, STANAG 2021 szerinti besorolását, ami jól szemlélteti, hogy a részletesebb teherbírasi osztályok és a katonai közlekedés sajátos szabályai miatt hogyan nyerhetünk a civil értékeknél lényegesen kedvezőbb teherbírasi besorolásokat.

Az egyes hidak besorolása előtt fontos hangsúlyozni, hogy az ezzel az egyszerűsített módszerrel kapott teherbírasi értékek, amelyek a statikai igénybevételek összehasonlításán alapulnak, csak a hídszerkezet aktuális állapotának ismeretében alkalmazhatók. Az így meghatározott katonai teherbírasi értékek (MLC) használatához tudnunk kell, hogy a híd civil nyilvántartás szerinti teherbírása helyes, és nem szükséges annak korlátozása (például korróziós károsodás, szerkezeti hiba, egyéb ok miatt). Ezen feltételt szem előtt tartva adtuk meg a katonai besorolási értékeket a 2. táblázatban. A katonai teherbírások két oszlopban szerepelnek, ezek közül az első a kerekes járművekre érvényes (W = wheeled), a második oszlop pedig a lánctalpas járművekre (T = tracked). Mindkét katonai teherbírás arra a közlekedési rendre vonatkozik, amikor nincsen párhuzamos civil közlekedés a hídon, a katonai jármű egyedül van a hídszerkezeten, és annak tengelyében közlekedik.

2. táblázat: A 2004-ben nevesített, ma is teherbírás-hiányos hidak katonai teherbírás-besorolása

| Ssz. | Útszám | Szelvény  | Törzsszám | Híd neve                   | Civil teherbírás | Katonai teherbírás |          |
|------|--------|-----------|-----------|----------------------------|------------------|--------------------|----------|
| 1    | 3      | 202+723   | 1114      | Szikszói Vadász-patak-híd  | 40 tonna         | MLC80/W            | MLC70/T  |
| 2    | 6      | 139+825/2 | 1220/2    | Szekszárdi régi Sió-híd    | 40 tonna         | MLC100/W           | MLC100/T |
| 4    | 52     | 58+621    | 1966      | Solti Kis-Duna-híd         | 40 tonna         | MLC100/W           | MLC90/T  |
| 7    | 66     | 27+111    | 2134      | Sásdi Baranya-csatorna-híd | 40 tonna         | MLC80/W            | MLC60/T  |
| 11   | 441    | 2+771     | 2501      | Ceglédi Gerje-csatorna-híd | 40 tonna         | MLC80/W            | MLC50/T  |
| 13   | 7453   | 1+174     | 5332      | Őriszentpéteri Zala-híd    | 40 tonna         | MLC80/W            | MLC70/T  |
| 14   | 8209   | 4+685     | 5627      | Balinkai malomcsatornahíd  | 40 tonna         | MLC80/W            | MLC50/T  |
| 15   | 8209   | 8+206     | 5630      | Balinkai-ér-híd            | 40 tonna         | MLC70/W            | MLC70/T  |

<sup>11</sup> AEP-3.12.1.5

<sup>12</sup> HAJÓS–GOSZTOLA 2024.

<sup>13</sup> KOVÁCS 2004.

| Sz. | Útszám | Szelvény | Törzs-szám | Híd neve                                  | Civil teherbírás | Katonai teherbírás |         |
|-----|--------|----------|------------|-------------------------------------------|------------------|--------------------|---------|
| 16  | 8212   | 2+535    | 5635       | Fehérvárcsurgói Gaja-patak-híd            | 40 tonna         | MLC80/W            | MLC60/T |
| 17  | 8212   | 4+614    | 5634       | Fehérvárcsurgói Isztimér-vízfolyás-híd    | 40 tonna         | MLC80/W            | MLC50/T |
| 18  | 8212   | 8+575    | 5633       | A bakonykúti időszakos vízfolyás hídja    | 40 tonna         | MLC80/W            | MLC50/T |
| 19  | 8213   | 15+426   | 5638       | Jásdi elágazó előtti Gaja-patak-híd       | 40 tonna         | MLC70/W            | MLC60/T |
| 20  | 8214   | 5+368    | 5641       | Hajmáskéri Ér-patak-híd                   | 32 tonna         | MLC80/W            | MLC50/T |
| 21  | 8215   | 0+503    | 5643       | A Séd-patak Hajmáskér előtti ártéri hídja | 32 tonna         | MLC70/W            | MLC50/T |
| 22  | 8216   | 16+519   | 5645       | Szápári-ér feletti híd                    | 40 tonna         | MLC80/W            | MLC50/T |
| 25  | 8301   | 29+217   | 5698       | Bakonykoppányi Gerence-patak-híd          | 20 tonna         | MLC70/W            | MLC50/T |
| 26  | 8302   | 0+859    | 5701       | Pápai Bakony-ér-híd                       | 40 tonna         | MLC80/W            | MLC60/T |

*Forrás: a szerzők szerkesztése*

A 2. táblázatban látható, hogy a katonai teherbírasi besorolás minden esetben kedvezőbb, mint a civil besorolás. Megfigyelhető, hogy a nagyobb nyílású hidak fajlagosan nagyobb katonai teherbírást eredményeznek, mint a kisebb hidak. Így például a 2. táblázat legnagyobb nyílású hídját tekintve a solti Kis-Duna-híd civil besorolása 40 tonna, de katonai járművekre vonatkozóan, egyedül, tengelyben, civil forgalom nélkül kerekess járműre MLC100/W (90,72 tonna össztömeg), lánctalpas járműre pedig MLC90/T (81,65 tonna össztömeg) besorolást kaptunk.

## Összefoglalás

Az ország közúti közlekedési infrastruktúrájának érzékeny pontjai a hidak, amelyek esetleges teherbírasi elégtelensége jelentősen korlátozza a katonai mobilitást. Tanulmányunkban húszéves időszakot tekintettünk át, megvizsgálva, hogy a 2004-ben katonai szempontból kritikusnak ítélt 26 konkrét közúti hídszerkezetnek hogy alakult a története, a műszaki állapota és a teherbírása.

Megállapítottuk, hogy bár a vizsgált két évtizedben korábban alig látott ütemben bővült a magyar közúthálózat, a meglévő hidakra a szükségesnél lényegesen kevesebb forrás jutott, s a nevesített hidak közül 17 ma is problémásnak minősül.

A katonai mozgások, műveletek nem minden esetben haladhatnak az autópályákon, főutakon, ezért nagy jelentősége lehet az alárendelt utak menti hídszerkezeteknek is. Ezek teherbírása mint első számú paraméter a katonai közlekedés adatbázisában meghatározhatja a mozgatási irányokat mind a nemzeti, mind a szövetségi haderőknél.

Az azonosított kis civil teherbírásiú hídra az egyszerűsített igénybevétel összehasonlító módszerével elvégeztük a katonai teherbírás-besorolást, ami lényegesen kedvezőbb értékeket

adott, mint a civil nyilvántartott teherbírás. Ez a példa rávilágít arra, mekkora előnnyel fog járni a katonai teherbírás-értékelés általános alkalmazásba vétele a meglévő közúti hidak esetében, jelentékenyen javítva a katonai mobilitást.

A kritikus infrastruktúra jogi szabályozása lehetőséget nyújt arra, hogy a civil infrastruktúra elemeit is kritikussá nyilvánítsuk katonai követelmények alapján. Az előzők szerint van lehetőség arra, hogy a még megerősítetlen hídszerkezetek prioritást kapjanak mint kritikus katonai infrastruktúra-elemek.

## Felhasznált irodalom

- AEP-3.12.1.5 (2024): *NATO Standard Military Load Classification of Bridges, Ferries, Rafts and Vehicles*. Edition B Version 1, November 2024, NATO Standardization Office.
- CSEPIN Zsolt (2014): Megújul a Rátóti híd. *Mozaik*, 18(2), 20–21.
- e-UT 07.01.12:2011 Erőtani számítás Közúti hidak tervezése (KHT) 2. *Útügyi Műszaki Előírások*. Online: <https://www.ume.kozut.hu/dokumentum/1365>
- GÁBRIEL László Szabolcs (2022): Pincehelyi Kapos-híd átépítése. In HAJÓS Bence (szerk.): *Hidász napok 2021 előadásainak gyűjteménye*. Biri: Első Lánchíd Bt., 386–394.
- HAJÓS Bence (2024): Paradigmaváltás a közúti hídtervezésben a hasznos járműterhek vonatkozásában – Katonai alapterhek helyett polgári járműterhek bevezetéséről. *Műszaki Katonai Közlöny*, 34(2), 5–16. Online: <https://www.doi.org/10.32562/mkk.2024.2.1>
- HAJÓS Bence – GOSZTOLA Dániel (2024): Proposals for the Military Load Capacity Assessment of Existing Road Bridges. In *11<sup>th</sup> International Conference on Bridges in the Danube Basin (ICBDB2024)*. Technical University of Munich, 2024. november 20–21. Online: <https://doi.org/10.14459/icbdb24.28>
- KOVÁCS Ferenc (2004): *Egyes közlekedésfejlesztési feladatoknak a NATO Biztonsági Beruházási Programjába történő integrálása lehetőségének vizsgálata*. Tanulmány a Gazdasági és Közlekedési Minisztérium részére. Budakeszi: Aktuál Mérnökiroda Bt.
- POLÓNYI Tibor (2022): Honvédség a civil hídépítésben. In HAJÓS Bence (szerk.): *Hidász napok 2021 előadásainak gyűjteménye*. Biri: Első Lánchíd Bt., 395–407.
- STANAG 2021. *Military Load Classification of Bridges, Ferries, Rafts and Vehicles* (2024). Edition 9. [H. n.]: NATO Standardization Office.

## Jogi források

2024. évi LXXXIV. törvény a kritikus szervezetek ellenálló képességéről  
474/2024. (XII. 31.) Korm. rendelet a kritikus szervezetek ellenálló képességéről szóló törvény végrehajtásáról
- 475/2024. (XII. 31.) Korm. rendelet az ország védelme és biztonsága szempontjából jelentős szervezetek ellenálló képességéről



Balla Tibor,<sup>1</sup>  Padányi József<sup>2</sup> 

# Műszaki kiválóságok: Kőszeghi-Mártony Károly vezérőrnagy

## Engineer Geniuses: Major General Károly Kőszeghi-Mártony

*Kőszeghi-Mártony Károly katonai pályafutása során számos alkalommal kapott olyan feladatot, amelynek megoldásával beírta magát a technika fejlődésének történetébe, és a műszaki csapatok leginnovatívabb tisztjeinek sorába emelkedett. Akadémiai jelölése tehát nem a véletlen műve volt, tehetségét ezzel kortársai is elismerték. A mi adósságunk, hogy neve feledésbe merült, és néhány publikáción kívül kevés dolog emlékeztet tehetségére.*

**Kulcsszavak:** levegőszűrő, gulyáságyú, talajmechanika, innováció, erődítés

*Károly Kőszeghi-Mártony had many difficult problems to solve during his long professional career, and by the virtue of his skills in solving those, he elevated himself among the most innovative military engineering officers and wrote his name into the book of technological advancements. His nomination into the Hungarian Academy of Sciences is therefore not a coincidence, his peers realised his talent too. While Kőszeghi-Mártony's name seems forgotten nowadays and only a few publications remind us about his immense talent, this essay aims to give some justice to his legacy.*

**Keywords:** air filter, field kitchen, soil mechanics, innovation, fortifications

### Bevezetés

Kőszeghi-Mártony Károly (1. ábra) 1783. március 11-én született Sopronban. Édesapja Mártony József István szőlész és borász, édesanyja Dell Henrika Rozina Ludovica volt. Szülővárosában végezte alsóbb fokú tanulmányait, ahol 1799-ben tett záróvizsgát az Evangélikus Líceumban.

<sup>1</sup> Kutatóprofesszor, Nemzeti Közszerológati Egyetem Hattudományi és Honvédtisztképző Kar, e-mail: [balla.tibor@uni-nke.hu](mailto:balla.tibor@uni-nke.hu)

<sup>2</sup> Egyetemi tanár, Nemzeti Közszerológati Egyetem Hattudományi és Honvédtisztképző Kar, e-mail: [padanyi.jozsef@uni-nke.hu](mailto:padanyi.jozsef@uni-nke.hu)



1. ábra: Kőszeghi-Mártony Károly vezérőrnagy

Forrás: Kőszeghy Mártony Károly [é. n.]

Négy testvére közül az egyik, István (1786. július 20. Sopron – 1838. szeptember 13. Velence) az árkászkarban, alezredesként fejezte be katonai pályafutását.

Itt kell szólnunk arról az erős családi kapcsolatról is, amely Tóth Ágostonhoz kötötte.<sup>3</sup> Tóth Ágoston (1812. október 28. – 1889. június 9.) nemzetközi híró térképész, katona akadémikus gondolkodásának alakulására nagy hatással volt két nagybátyja, Károly hadmérnök törzstiszt (később vezérőrnagy) és István utászs százados példája. Különösen Károly nagybátyja volt erős befolyással Tóth Ágoston egész jövőjére, mert az ő szavai ébresztették fel benne az érdeklődést a katonai pálya iránt.<sup>4</sup> Egész életében hálával gondolt nagybátyjára, neki köszönhetjük Mártony életrajzát és mellszobrának megmintázását<sup>5</sup> (2. ábra).

Mártony 1808-ban megnősült, felesége Schanreck Theresia 1809-ben fiúgyermekkel ajándékozta meg, aki azonban korán elhalálozott. Kőszeghi-Mártony Károly 1848. július 21-én halt meg Brünmben.

<sup>3</sup> Tóth Ágoston édesanyja Kőszeghi legfiatalabb húga, Henrika Johanna Sarolta (1789–1859) volt.

<sup>4</sup> Ács 2013: 85.

<sup>5</sup> TÓTH 2014.



2. ábra: A Tóth Ágoston készítette mellszobor

Forrás: IRMÉDI-MOLNÁR 1960: 313.

## Katonai pályafutása

A soproni iskolákat követően a bécsi hadmérnöki akadémián tanult, ahol 1803-ban – 62 társát megelőzve – végzett évfolyamelsőként. 1804-ben főhadnaggyá nevezték ki, és Velencében teljesített szolgálatot, ahol a Lazzaretto Nuovo erődítési munkáiban vett részt.<sup>6</sup> 1806-ban áthelyezték Olmützbe, majd Theresienstadtba.<sup>7</sup> 1808. január 10-én másodosztályú századossá lépett elő. 1808-ban Theresienstadtból átvezényelték a Pyhrn-szoros<sup>8</sup> védelmét szolgáló erődítési munkálatokhoz. Mártony a harcokból is kivette a részét, így sebesült meg 1809. május 21-én a St. Michael-i összeütközésnél. Egy golyó a szíve alatt fúródott a testébe, és a hátsó bordákban akadt meg. Négy hónap alatt azonban már talpra állt, és miután megkapta új beosztását, szeptember és október hónapot már a Dunaföldvárnál és Ercsinél építendő erődítési munkálatokban töltötte el. A korai szolgálatba lépés azonban megbosszulta magát: a megakadt golyó vándorolni kezdett a testben, és nagy fájdalmakat okozott. Mártony kénytelen volt kórházba menni, hónapokig ápolták a prágai helyőrségi kórházban. Elvégezték rajta

<sup>6</sup> A Lazzaretto Nuovo stratégiai helyen fekvő sziget a Velence felé vezető hajózási útvonalon.

<sup>7</sup> Ma Terezín település Csehországban. II. József építtette 1780-ban az Ohře két partján, annak elbai torkolatánál álló erődöt, amely Bohemia északi részének védelmét szolgálta Poroszországgal szemben.

<sup>8</sup> A Pyhrn-szoros 90 km-re található Linztől Ausztria Felső-Ausztria tartományában, közel Stájerországhoz.

a veszélyes műtétet, és megszabadították a golyótól. Felgyógyulása után előbb Brünneben, majd 1812. november 15-én Olmützbe rendelték az erődítési munkálatokhoz.<sup>9</sup>

1813–1814-ben csapatszolgálatot látott el, majd Bécsbe vezényelték az erődítési parancsnokságra, közvetlenül János főherceg mellé. 1815-ben újabb szintre lépett, mivel elsőosztályú századosi rendfokozatot kapott. János főherceggel való szakmai kapcsolata elmélyült, személyesnek is nevezhető együttműködés alakult ki közöttük.<sup>10</sup>

1826. július 8-tól őrnagyként szolgált a császári-királyi mérnökkarban. Felterjesztésében a következő állt: „Mártony Károly kapitány ő felségének előléptetésre ajánlatik, azt mondatik, hogy Mártony Károly a mérnöki kar egyik legjelesebb és legérdemesebb tisztje.”<sup>11</sup> A Földvár és Ercsi melletti sáncművek építéséért és egyéb hadmérnöki munkáiért 1826-ban legfelsőbb dicséretben részesült.

1832. augusztus 2-án alezredessé léptették elő a mérnökkarban, 1838. július 2-től ezredes volt ugyanott.<sup>12</sup> A Franzensfeste erődítési munkáinak irányításában végzett erőfeszítéseit olyan nagyra becsülték, hogy I. Ferenc császár a vár átadásakor (1838. augusztus 28.) a Lipót-rend lovagkeresztjét adományozta neki és kinevezte a további építkezések egyedüli vezetőjévé.<sup>13</sup>

1839-ben áthelyezték az árkásztestületbe, annak vezetőjévé. A császár intézkedése az udvari haditanács felé így hangzik: „Indítva érzem magam a bécsi mérnökkari főigazgatóságnál alkalmazott Kőszeghi Mártony Károly ezredest, tekintettel széles ismereteire és tapasztalataira az aknászati szakban és egyszersmind teljes bizalmam és különös megelégedésem bizonyítására hosszú és kitűnő szolgálatáért az aknász kar parancsnokává kinevezni.”<sup>14</sup> Hainburgban, ahol 1845-ig szolgált, nagy kedvvel és sokat kísérletezett. Vizsgálta az aknarobbantás hatásait és jellemzőit különböző talajokban.<sup>15</sup>

1845. szeptember 19-én császári-királyi vezérőrnagyi kinevezést kapott, és egyúttal erődítéskörületi igazgató lett Morvaországban és Sziléziában. 1848. június 13-án kinevezték erődparancsnoknak Péterváradra. 1848. július 21-én érte a halál, amint az utazáshoz készült új állomáshelyére.

## Tudományos munkássága

Mártony a császári-királyi hadseregben hadmérnökként szolgált, így az új harceszközök és eljárások kidolgozása, kipróbálása nem állt messze tőle. Azt vallotta, „hogyan az emberi ész egyedül nem képes az alapokat feltalálni, csak a természet erőinek tökéletes ismerete után lehet annak kutatását megkísérteni”.

Különösen érdekelte a gőz erejének felhasználhatósága és a villamosság. Bécsi tartózkodása alatt több olyan szakmai feladatot is kapott, ahol kamatoztathatta felkészültségét és találatekonyságát. Első nagyobb feladata egy ágyúcső fúrására alkalmas műhely felépítése volt.

<sup>9</sup> IRMÉDI-MOLNÁR 1960.

<sup>10</sup> TÓTH 2014: 139.

<sup>11</sup> TÓTH 2014: 142.

<sup>12</sup> *Hazai's Külföldi Tudósítások*, 1838. második félv. 44; *Hírnök*, 1938. július 23., 1.

<sup>13</sup> TÓTH 2014: 147.

<sup>14</sup> TÓTH 2014: 148.

<sup>15</sup> IRMÉDI-MOLNÁR 1960: 321.

Eddig az ágyúkat úgy öntötték, hogy a lyukat is öntéssel hozták létre, de ez nem volt tökéletes és biztonságos megoldás a technológia fejletlensége miatt. Az elképzelés az lett, hogy az öntött ágyúcsövet utólag fúrják méretre, de ehhez megfelelő energiára volt szükség. Mártony feladata az volt, hogy tervezze meg az épületet, amelyben elvégzik a nagy precizitást igénylő műveletet. A bécsújhelyi csatorna szolgáltatva a vizet a gépek hajtására, és ennek zúgóját saját terve szerint építtette meg. Azt, hogy jól számoltak, bizonyította a próbaüzem, hiszen a gyár azonnal megkezdhetette működését.<sup>16</sup>

A gőz hőjének hasznosításán is sokat dolgozott. Így jutott el – a haditanács felkérésére – a tábori konyha megalkotásához, amellyel jelentős megtakarítást érték el a fa fűtőanyagként való felhasználásában. Mint minden újnak, így ennek is voltak ellenzői, akik mindent megtettek, hogy bizonyítsák a konyha működőképtelenségét. Egyes szakácsok attól sem riadtak vissza, hogy szándékosan ehetetlen étket készítsenek, hibáztatva a szerkezetet.<sup>17</sup>

A sűrített levegős légzőkészüléke tervezését 1828-ban kezdte meg. A légzőkészülékre az igényt az a harcászati helyzet generálta, hogy az erődök és várak ostrománál gyakorta sor került az aknaharcra. Ennek lényege, hogy a támadó aknákat ásott az erősség fala alá, azt megrakta robbanóanyaggal, majd így rombolta a falat. A védő ellenaknákat ásott, így próbálta megelőzni a támadót. Az aknákból felrobbantott lőpor gázai miatt sokáig nem lehetett azokba bemenni, így felmerült az igény egy védőeszköz megalkotására, amely biztonságos, könnyen kezelhető és más, külső eszköztől független. A katonai fejlesztés, az első kísérletek már 1828-ban megkezdődtek, de tragédiába torkolltak.<sup>18</sup>

A probléma megoldása a császári–királyi hadvezetést is erősen foglalkoztatta. János főherceg<sup>19</sup> Mártony Károlynak adta a parancsot, hogy tegyen javaslatot a következő szempontokra figyelemmel:

„Ezen készület mivoltának abban kellett vala határozódnia, hogy

1. Általa még a legveszedelmesebb fojtó párával tölt helyben is hosszabb ideig lehessen tartózkodni.
2. Olly egyszerű legyen, hogy azt a közember is könnyen használhassa.
3. A vele felkészült ember semmi külső készülettől se függjön, hanem szabadon, s önhátón minden akadály nélkül mindazon munkákat véghez vihesse, mellyek illy alkalmatossággal tőle kívántathatnak.”<sup>20</sup>

János főherceg a katonai alkalmazáson túli felhasználásra is gondolt a feladat meghatározásakor, hiszen az eszköztől elvárta, hogy

<sup>16</sup> TÓTH 2014: 141.

<sup>17</sup> TÓTH 2014: 141.

<sup>18</sup> 1828-ban egy kísérlet során három műszaki tiszt – köztük egy magyar, Keresztury főhadnagy – vesztette életét. *Tudományos Gyűjtemény* 1831: 3–4.

<sup>19</sup> Habsburg–Lotaringiai János József Fábian Sebestyén főherceg (1782–1859), német–római császári herceg, osztrák főherceg, magyar és cseh királyi herceg, császári–királyi tábornagy, a grazi Műszaki Egyetem alapítója. 1801-től hadmérnöki és erődítési főigazgató volt. Érdekes adalék az életéhez, hogy mint a Hadiakadémia főparancsnoka és a műszaki csapatok főfelügyelője egy iskolalátogatás során személyesen győződött meg Bolyai János matematikai tehetségéről. Elismerését külön is kifejezte üzenet formájában az apának, azzal a megjegyzéssel, hogy szorgalmas munka esetén nagy jövő vár fiára a katonai pályán. A későbbiek során János főherceg valóban figyelemmel kísérte Bolyai János sorsát, annak alakulásában jóindulatot tanúsított. SZÉNÁSSY 1978.

<sup>20</sup> *Tudományos Gyűjtemény* 1831: 5.

„[a]z emberiség hasznára több más veszélyes esetekben is kívánatos szolgálatot tenne. E készüléttel a borforrás folyamatja alatt is veszedelem nélkül a pinczébe lehetne menni: valamint a fojtó levegővel terhes mély kutakba leszállni, és benne dolgozni: nem különben tűzi veszedelemkor akármely füsttel, és fojtó párával teljes lakó és tartó helybe az emberek, és más egyéb tárgyak megmentésére.”<sup>21</sup>

Mártony Károly 1830-ban nem a gázálcot, hanem a sűrített levegős légzőkészülék őseit találta fel, így találmánya korszakalkotó volt. A gázálcban az álcban szűrőbetétten át érkező megszűrt levegő teszi lehetővé a légzést. Használhatósága a környező levegő gázzal vagy füsttel való szennyezettségének mértékétől függ. Ha ugyanis a környezeti levegő oxigéntartalma 15% alá csökken (a normál levegő oxigéntartalma 20,95%), akkor már megszűrve sem alkalmas légzésre. Mártonynak az volt a feladata, hogy lehetővé tegye a gyors behatolást a földalatti aknába robbantás után. Oda azonban csak olyan készülékkel lehetett bejutni, amellyel az ember függetleníteni tudta magát a környezeti levegőtől. Az első ilyen típusú légzőkészülék megalkotása Alexander von Humboldt érdeme. 1795-ben impregnált szövetszakban tárolt levegőt. A zsákot és a szájcutorát csővezetékekkel kötötte össze. A zsák mérete azonban csak néhány perces tartózkodást tett lehetővé.

Mártony Károly megoldása a többletlevegőt úgy szolgáltatta, hogy a katona hátára felszerelt 6 literes acélpalackban 20 bar nyomás alatt 120 liter levegőt tárolt. Ez 25–30 perces tartózkodáshoz elég. Találmányának az volt a lényege, hogy a levegőt acélpalackban sűrítve tárolta, ez tette lehetővé a széles körű gyakorlati felhasználást.<sup>22</sup> A mai készüléknél is ezt az elvet alkalmazzák. Mártony Károly készülékét C. E. Kraft bécsi mechanikus gyártotta sorozatban. A légzőkészüléket a katonaságon kívül a bécsi tűzoltóság is használta. Mártony halála után, 1861-től Kraft saját neve alatt hozta forgalomba<sup>23</sup> (3. ábra).

Az eszköz első hivatalos próbáját 1830-ban, Bécsben tartották, katonákból, tudósokból és a kormány embereiből álló bizottság előtt. A kísérletről jegyzőkönyv készült, amelyet Trattner Károly<sup>24</sup> hadmérnök százados készített.

Mártony Károly más kutatási területeken is megállta a helyét. A katonai műszaki gyakorlatban az erődítés meghatározó szerepet játszik, így az erődítések építésének minden részlete kiemelt figyelemre érdemes. Mártonyt méltán nevezhetjük az első magyar földnyomáskutatónak, hiszen már 1828-ban megjelent erről egy írása *Versuche über den Seitendruck der Erde ausgeführt auf höchsten Befehl des Herrn General Genie-Directors Erzherzog Johann, kaiserliche Hoheit und verbunden mit einer theoretischen Abhandlung über diesen Gegenstand nach Coulomb und Français, nebst einer Nachweisung älterer Versuche dieser Art von Carl Martony de Kőszegh, Major im k. k. Ingenieurs-Corps* címmel, Bécsben. Ebben az időszakban a legtöbb hadseregben a műszaki tisztek a jeles francia, az erődépítés talán legnagyobb alakja, Vauban marsall<sup>25</sup> nyomdokain jártak.

<sup>21</sup> *Tudományos Gyűjtemény* 1831: 5.

<sup>22</sup> Részletesen lásd BERKI 2018: 200–224.

<sup>23</sup> TARJÁN 1983: 7.

<sup>24</sup> A híres nyomdászcsalád egyik tagja.

<sup>25</sup> Sébastien Le Prestre, Seigneur de Vauban, később Marquis de Vauban (1633–1707) Franciaország marsallja, a kor leghíresebb hadmérnöke és hadi építész. 56 év alatt 33 új erődítményt tervezett, 160 helyszínre 400 tervet készített, sok régi erődöt modernizált. Nevéhez fűződik a párhuzamos ostromárkok rendszerének bevezetése,



3. ábra: Mártony találmányának eredeti darabja a Bécsi Tűzoltó Múzeumban (középen)

Forrás: KOZESCHNIK-SCHLICK 2017

János főherceg Mártonyt bízta meg azzal, hogy tervezze meg a bécsi Schotten Bastiont, és végezze el az azzal kapcsolatos földnyomási kísérleteket. Mártony 48 kísérletet végzett öt hónap alatt, meghatározva a termőföldnek, homoknak, sárga agyagnak és kavicsnak különböző nedvességi állapotához tartozó súrlódási szög és kohézió értékeit.

Mártony a földnyomási elméletek ismertetésével kapcsolatban is maradandót alkotott, mert munkájának bevezetésében elsőnek ismertette a Coulomb- és Français-féle földnyomási elméleteket. Ő az első, aki német nyelvre lefordította az említett francia értekezéseket, így azokat a német nyelvű műszaki világ részére megközelíthetőbbé tette. Dr. Fritz Kötter német matematikus *Die Entwicklung der Lehre vom Erddruck* című technikátörténeti tanulmányában kimutatja, hogy a későbbi német kutatók – s ezek közül különösen a két híres bécsi professzor, Rebhann és Winkler – is Mártony munkájából ismerték meg a francia földnyomáselméleteket. Kétségtelen, hogy Mártony száz év előtti munkája a földnyomás-irodalomban számottevő volt, s ha ma már az akkor alkalmazott módszerek kezdetlegesnek is tűnnek, s bár Mártony munkája a Habsburg-hadsereg

---

a felpattanó (elsodró) ágyúlövés módszere, de foglalkozott vízépitészettel, mezőgazdasággal és statisztikai kérdésekkel is.

hivatalos nyelvén, németül jelent meg, őt mégis a magyar kutató technikusok kiválóságai közé kell sorolnunk.<sup>26</sup>

Térképészeti feladatait is igen magas szinten látta el. Az első volt, aki a császári-királyi hadseregben a haderődítési munkák során alkalmazta a vízszintes vonalak rendszerét a térképészeti munkákban. 1838-ban a Brixen melletti Franzensfeste (ma Fortezza) erőd építésénél használta ezt a módszert. Érdekesség, hogy Hollán Ernő 1844-ben Komáromnál ugyanezt a rendszert használta.<sup>27</sup>

Munkásságára a tudományos élet is felfigyelt. 1847. december 23-án a Magyar Tudományos Akadémia ülésén a „tagválasztás dolga vétetvén elő” a matematikai osztály levelező tagul – mások mellett – Kőszeghi-Mártony Károlyt ajánlotta az igazgatóságnak.<sup>28</sup> A javaslat így szólt:

„Külföldi levelezőknek: a) Gauss, b) Poncelet, a' francia institut tagja, igen jeles analysta, c) Kőszeghi Mártony Károly az ausztriai Leopold rend vitéze, cs. kir. vezérőrnagy, erősítéskerületi igazgató Morvában stb., mint az »Ueber den Seitendruck der Erde« jeles munkának szerzője. Pest, dec. 21., 1847. Győry Sándor, Vállas Antal, Kiss Károly.”

Végül megválasztották 18 igen és 7 nem szavazattal, de belföldi tagnak, mert magyar születésű külföldi tag nem lehetett.<sup>29</sup>

## Emlékezete

Sopronban emléktábla áll szülőháza falán, a Hátsókapu utca 2. alatt. A Katasztrófavédelem Központi Múzeum fotótárában számos kép és egy mellszobor emlékeztet munkásságára. Az általa alkotott készülék egy példánya a Bécsi Tűzoltó Múzeumban megtalálható. Oláh Máttyás László képzőművész domborművön örökítette meg vonásait (4. ábra).



4. ábra: Oláh Máttyás domborműve

Forrás: Köztéri szobrok [é. n.]

<sup>26</sup> JANICSEK 1933: 389–390.

<sup>27</sup> TÓTH 1868.

<sup>28</sup> Magyar Akadémiai Értesítő 1847: 401.

<sup>29</sup> HEINRICH 1906: 641.

A Magyar Posta Zrt. 2016-ban, az ifjúsági bélyeggyűjtés támogatására megjelentette a magyar tűzoltóság történetének néhány jelesét ábrázoló bélyegblokkot. A bélyeget Svindt Ferenc bélyegtervező grafikusművész tervezte, és ezen szerepel Kőszeghi-Mártony Károly is.<sup>30</sup>

A nevéhez köthető írások a következők:<sup>31</sup>

*Beschreibung eines Luftkastens, mittelst dessen sich alle Gattungen hydraulischer Arbeiten unter dem Wasser verrichten lassen. Aus dem Franz (1821).* Pesth: C. A. Hartleben. Két rézmet-szettel. Névtelenül. (Coulomb C. A. után fordította.)

*Versuche über den Seitendruck der Erde (1828).* Wien: [k. n.].

## Befejezés

Nem lehetne hitelesebben összefoglalni munkásságát Tóth Ágostonnál, ki így emlékezett nagybátyjára:

„1838 évi Május hóban 14 napot töltöttem nagybátyámnál és ott győződtem meg azon őszinte és odaadó ragaszkodásról, mellyel az alája rendelt tisztek irányába viseltettek. Kegyes és szívélyes modora mindenkit, kivel érintkezésbe jött, megnyert, észbeli kimagasodása és mély tudománya pedig tiszteletet gerjesztettek. Mindenki tudta, hogy a pártfogolásnak ellensége, nem is számított arra senki, hanem buzgósággal iparkodott tisztét híuen teljesíteni. Nagybátyám nem is kért soha semmit saját vagy mások magán ügyében, azon elvből indulván ki, hogyha ő kér, mások viszont követelni fognak. Szigorú igazságában mindenki bízott és meg volt győződve, hogy szorgalmát és tevékenységét észreveszi és jelentéseiben elismeréssel jutalmazni fogja. A hanyag és a szemlesi [!] félt tőle, és ha magas szemöldökét még magasabbra emelte és szemével villogott, az érdekelt a föld alá süllyedni kívánt.”<sup>32</sup>



5. ábra: Emléktábla a szülői házon Sopronban

Forrás: Resperger Réka felvétele

<sup>30</sup> Ifjúságért 2016: Tűzoltóság [é. n.].

<sup>31</sup> SZINNYEI 1900: 130.

<sup>32</sup> TÓTH 2014: 148.

„Ezen jeles férfi, ki többnemű felfedezést tett, ki kísérletei után nyert eredmények által az államnak nagy [meg]takarításokat tett és a jövőnek biztosított, kő építkezései alatt milliokról rendelkezett, a legegyszerűbb és szerény háztartás és életmód mellett, ebből semmi anyagi hasznot nem húzott és semmi vagyona nem tett szert, hagyománya csupán azon 6000 frt-ból állott, melyet neje számára 1808-ban biztosítéku letett. Becsületessége életében is kifogástalannak ismertetett el, de ezen tény önzetlen jellemének legszebb bizonyítéka.”<sup>33</sup> (5. ábra.)

## Felhasznált irodalom

- Ács Tibor (2013): Tóth Ágoston, a hadtudomány kiváló tudósa. *Honvédségi Szemle*, 141(6), 85–97.
- BERKI Imre (2018): „Az ötlet” – Kőszeghi-Mártony Károly találmánya – A sűrített levegős légzőkészülék. *Védelem Tudomány*, 3(4), 200–224. Online: <https://www.ojs.mtak.hu/index.php/vedelemtudomany/article/view/13300>
- Hazai 's Külföldi Tudósítások*, 1838. második félv.
- HEINRICH Gusztáv szerk. (1906): *Akadémiai Értesítő*. Budapest: Magyar Tudományos Akadémia. Online: [https://www.real-j.mtak.hu/88/1/Akademiateresimo\\_1906.pdf](https://www.real-j.mtak.hu/88/1/Akademiateresimo_1906.pdf)
- Hírnök*, 1838. július 23.
- IRMÉDI-MOLNÁR László (1960): Kőszeghi Mártony Károly. *Soproni Szemle*, 14(4), 312–322.
- JANICSEK József (1933): Mártony Károly, az első magyar földnyomáskutató emlékezete. *Vízügyi Közlemények*, 15(2), 389–390.
- Magyar Akadémiai Értesítő* (1847). Pest: Toldy Ferencz. Online: [https://www.real-j.mtak.hu/74/1/Akademiateresimo\\_1847.pdf](https://www.real-j.mtak.hu/74/1/Akademiateresimo_1847.pdf)
- SZINNYEI József (1900): *Magyar írók élete és munkái VII*. Budapest: Hornyánszky.
- TARJÁN Rezső (1983): Gulyáságú és légzőkészülék. *Műszaki Élet*, 38(6), 7.
- TÓTH Ágoston (1868): A topographia fejlődése. *A Magyar Mérnök-Egyesület Közlönye*, 2(1), 101–112.
- TÓTH Orsolya (2014): Kőszeghi Mártony Károly császári királyi tábornagy – Tóth Ágoston magyar királyi ezredes visszaemlékezése alapján. In ZÁVODI Szilvia (szerk.): *A Hadtörténeti Múzeum értesítője 14*. Budapest: Hadtörténeti Múzeum, 133–150.
- Tudományos Gyűjtemény* (1831), 15(4).

## Internetes források

- Ifjúságért 2016: Tűzoltóság [é. n.]. Magyar Posta Zrt. Online: <https://www.eshop.posta.hu/storefront/belyeg/belyeg/ifjusagert-2016-t-zoltosag/prod2016070040011.html#prettyPhoto>
- KOZESCHNIK-SCHLICK, Ulrike (2017): Die älteste Berufsfeuerwehr der Welt hat ein eigenes Museum in der City. MeinBezirk, 2017. július 24. Online: [https://www.meinbezirk.at/alsergrund/c-lokales/die-aelteste-berufsfeuerwehr-der-welt-hat-ein-eigenes-museum-in-der-city\\_a2189071#gallery=default&pid=10759884](https://www.meinbezirk.at/alsergrund/c-lokales/die-aelteste-berufsfeuerwehr-der-welt-hat-ein-eigenes-museum-in-der-city_a2189071#gallery=default&pid=10759884)
- Kőszeghy Mártony Károly [é. n.]. A magyar térképészet nagy alakjai. Online: <http://www.lazarus.elte.hu/hun/tanszjpg/nagyjaink/koszeghy.htm>
- Köztéri szobrok [é. n.]. Oláh Mátyás László. Online: [https://www.olah-matyas-laszlo.hu/kozteri-szobrok/#ljig\[9\]/ML/1424](https://www.olah-matyas-laszlo.hu/kozteri-szobrok/#ljig[9]/ML/1424)
- SZÉNÁSSY Barna (1978): Bolyai János életútja. In *A múlt magyar tudósai*. Online: <https://www.arcanum.com/hu/online-kiadvanyok/MuMaTu-a-mult-magyar-tudosai-1/bolyai-janos-BAB/bolyai-janos-eletutja-BB4/>

<sup>33</sup> TÓTH 2014: 149.

Végh Krisztián<sup>1</sup> 

# A honvédelmi szempontból fontos infrastruktúrák drónvédelmének kérdései

## Issues of Countering Unmanned Aerial Vehicles in Relation to Critical Infrastructure from a National Defence Perspective

*A katonai kritikus infrastruktúrák védelme a korszerű hadviselés egyik kulcskérdésévé vált, különös tekintettel a pilóta nélküli légi járművek (UAV) technológiai fejlődésére és alkalmazási körének bővülésére. E rendszerek kis méretük, alacsony észlelhetőségük, valamint gazdaságos üzemeltethetőségük révén potenciálisan súlyos fenyegetést jelentenek, mivel képesek felderítő, elektronikai zavaró és támadó műveletek végrehajtására. A tanulmány célja a honvédelmi szempontból fontos infrastruktúrák drónokkal szembeni védelmének rendszerszintű elemzése, különös hangsúlyt fektetve a jelenlegi jogszabályi környezetre mind a honvédelmi szempontból fontos infrastruktúrák, mind a drónvédelem vonatkozásában.*

**Kulcsszavak:** katonai kritikus infrastruktúra, felfegyverzett drón, drónvédelem

*The protection of military critical infrastructures has emerged as a pivotal aspect of modern warfare, particularly in light of the rapid technological advancement and expanding operational capabilities of unmanned aerial vehicles (UAVs). Owing to their small size, low detectability, and cost-effective operation, these systems represent a potentially severe threat, as they are capable of executing reconnaissance, electronic warfare, and offensive missions. This study aims to conduct a system-level analysis of the protection of defence-critical infrastructures against drone threats, with particular emphasis on the current legal framework governing both the infrastructures themselves and the measures applicable to C-UAS.*

**Keywords:** military critical infrastructure, weaponised drone, counter drones

---

<sup>1</sup> Doktori hallgató, Nemzeti Közsolgálati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola, e-mail: [vegh.krisztian@hm.gov.hu](mailto:vegh.krisztian@hm.gov.hu)

## Bevezetés

Európa biztonsági környezetét alapvetően az orosz–ukrán háború, az illegális migráció és az azzal párhuzamosan beáramló terrorizmus lehetősége, tágabb kitekintésben a Közel-Kelet konfliktusai határozzák meg és befolyásolják. Az ezekből a fegyveres konfliktusokból levont tapasztalatok és következtetések közvetve vagy közvetlenül hatással vannak a Szövetség kiképzési és a védelmi kutatási-fejlesztési irányaira.

Az orosz–ukrán konfliktus egy sor olyan jelenséget hozott a felszínre, amely feledésbe merülni látszott a NATO béketámogató műveletek végrehajtásával töltött évtizedei során. Ebbe a sorba tartozik a műszaki záruk hatékonyságának ismételt felfedezése, amely kiterjedt aknamezők telepítésében ölt testet,<sup>2</sup> illetve a kritikus infrastruktúrák elleni tervezett és széles körű támadások<sup>3</sup> száma. A folyamatban lévő fegyveres összeütközések talán legszembeötlőbb jelensége a drónok tömeges alkalmazásának megjelenése. A katonai tevékenységek szinte bármely típusánál találkozhatunk velük, ennek megfelelően a nemzetek megkezdték annak vizsgálatát, hogy miként lehetséges beilleszteni azokat saját rendszerükbe. A drónok megjelenése kapcsán alapvetően az UAV<sup>4</sup> kategóriái tűnhetnek széles körben ismertnek, ugyanakkor a földi és vízi autonóm eszközök fejlesztése is zajlik.

A kezelő nélküli rendszerek fejlődése azonban számos tudományos problémát vet fel, amelyek megoldása alapvetően meghatározza a technológia sikerét és elterjedését. Az autonóm döntéshozatal, a navigáció, a megbízhatóság és az ember-robot együttműködés mind olyan terület, ahol jelentős kutatások és fejlesztések zajlanak. E kihívások kezelése nemcsak tudományos, hanem etikai, jogi és társadalmi szempontból is komoly feladatokat jelent.<sup>5</sup>

A problémák sorát bővíti a drónvédelem vonatkozásában rendelkezésre álló, megfelelő mennyiségű és minőségű, hiteles szabályzó és információ hiánya. Olyan átfogó ismeretanyag, amely annak teljes spektrumában vizsgálja a kérdést, nem készült. Bár az erők védelme szempontjából kifejezetten kimagasló mennyiségű és minőségű szakirodalom készült a hazai körökben, a drónvédelem elméleti kérdéseit taglaló, annak műszaki leírásait tartalmazó átfogó szabályzó nem áll rendelkezésre.

Úgy vélem, egyértelműnek tekinthető, hogy a megfelelő védelem kialakításának egyik alapfeltétele a drónok által okozott fenyegetés alapos vizsgálaton és értékelésen alapuló beazonosítása. Mindez természetesen különösen helytálló az infrastruktúrák, köztük a honvédelmi szempontból fontos infrastruktúrák vonatkozásában.

## Jogi keretek

A pilóta nélküli légi járművek (drónok) gyors ütemű elterjedése új kihívásokat teremt a nemzeti és szövetségi biztonság, különösen a honvédelmi szempontból kiemelten fontos infrastruktúrák

<sup>2</sup> CSURGÓ et al. 2024.

<sup>3</sup> KOVÁCS F. 2025; DARUKA 2025; DARUKA 2022.

<sup>4</sup> UAV: Unmanned Aerial Vehicle – pilóta nélküli repülőeszköz.

<sup>5</sup> SZALKAI–DARUKA 2022.

védelme terén. Az egyre elérhetőbbé váló technológia nemcsak a civil, hanem a potenciálisan veszélyes vagy ellenséges célú felhasználás lehetőségét is magában hordozza. Ennek következtében a drónok által jelentett fenyegetés jogi kezelésének, a vonatkozó szabályozási környezet pontos ismeretének, valamint az érintett szervezetek jogosultságai és kötelezettségei tisztázásának kiemelt jelentősége van.

A tanulmány első fejezete e kérdések jogi alapjait vizsgálja a hatályos magyar jogszabályok fényében. Először – figyelembe véve a jogi környezet változásait – pontosítani kívánom a honvédelmi szempontból fontos infrastruktúrák fogalmi kereteit, majd bemutatom az olyan kulcskérdéseket, mint a légtérhasználat szabályozása, illetve a drónokkal szembeni állami fellépés lehetőségei. A cél a jogi háttér világos és rendszerezett bemutatása, amely alapot nyújt a későbbi elemzésekhez és a gyakorlati alkalmazások értékeléséhez.

## A honvédelmi szempontból fontos infrastruktúrák jogi kérdései

A honvédelmi szempontból fontos infrastruktúrákra vonatkozó jogi háttér jelentős átalakuláson esett át az elmúlt időszakban. A témát korábban szabályozó alapdokumentumként kell tekinteni a 359/2015. (XII. 2.) Kormányrendeletre,<sup>6</sup> amely a „honvédelmi létfontosságú rendszerelemek” megközelítést alkalmazta. Ezt a jogforrást váltotta fel a 475/2024. (XIII. 31.) Korm. rendelet,<sup>7</sup> a védelmi és biztonsági tevékenységek összehangolásáról szóló 2021. évi XCIII. törvény alapján. Ennek értelmében a 359/2015. (XII. 2.) Korm. rendelet szám szerint nyolc „nemzeti létfontosságú rendszerelemek honvédelmi ágazati kritériuma” közül hetet átemeltek a 475/2024. (XIII. 31.) Korm. rendelet „honvédelmi szempontból fontos rendszerek és létesítmények alágazat kritériumai”-ként, amelyek lényegében beazonosítják azokat a feltételeket, amelyek közül egy teljesülése esetén az adott létesítmény, infrastruktúra, eszköz, informatikai rendszer vagy szolgáltatás a honvédelem szempontjából fontos, más szóhasználatkal katonai kritikus infrastruktúra.<sup>8</sup>

Mindezek alapján a honvédelmi szempontból fontos rendszerek és létesítmények alágazat kritériumai az alábbiak:<sup>9</sup>

- a) amelynek kiesése a honvédelmi ágazat működésképtelenségét vagy súlyos zavarát okozza, és nem vagy csak a honvédelmi érdek aránytalanul nagy sérelmével helyettesíthető;
- b) amely szerepel az ország védelmével kapcsolatban kidolgozott tervekben, és amelynek kiesése – a műveleti tervek rugalmasságán belül – nem vagy csak a honvédelmi érdek aránytalanul nagy sérülésével helyettesíthető;
- c) amelynek kiesése a befogadó nemzeti támogatás keretében vállalt honvédségi feladatok végrehajthatóságát jelentősen veszélyezteti, vagy abban súlyos zavart okoz, és nem vagy csak az érintett felek érdekeinek aránytalanul nagy sérelmével helyettesíthető;

<sup>6</sup> 359/2015. (XII. 2.) Korm. rendelet.

<sup>7</sup> 475/2024. (XIII. 31.) Korm. rendelet.

<sup>8</sup> Kovács–DÉNES 2019.

<sup>9</sup> 475/2024. (XIII. 31.) Korm. rendelet.

- d) amelynek leállása vagy meghibásodás miatt történő kiváltása vagy helyettesítése hosszabb ideig tart, mint amennyit a honvédelmi ágazat súlyos képességvesztés nélkül el tud viselni;
- e) amely a NATO szövetségi rendszer Magyarországon lévő rendszereleme, és védettségének sérülése, teljesítő képességének vagy más jellemzőjének negatív változása a szövetségi rendszer működésében, biztonságában súlyos zavart vagy működésképtelenséget okoz;
- f) amely a NATO Válságreakálási Rendszerrel összhangban álló Nemzeti Intézkedési Rendszerben meghatározott rendszabályok végrehajtásához elengedhetetlenül szükséges; vagy
- g) amely speciális igényeket elégít ki, nincs helyettesítője, és kiesése vagy meghibásodása a honvédelmi ágazat működésképtelenségét vagy súlyos zavarát okozza.

A fentieket összegezve a katonai kritikus infrastruktúra olyan honvédelmi szervezet<sup>10</sup> vagy annak alárendeltségében lévő fontos létesítmény, infrastruktúra, eszköz, informatikai rendszer vagy az által biztosított szolgáltatás, amelynek rendelkezésre állása és működőképessége a haderő műveleti képessége, végeredményben a honvédelem vagy a szövetségi védelem szempontjából alapvető fontosságú.

Úgy vélem, hogy a tanulmány egyik alapkérdésére, a „Mit kell megvédeni?” kérdésre adandó választ szükségszerű mértékben sikerült áttekinteni. Fontos azonban megjegyezni, hogy a fenti kritériumoknak való megfelelés esetén kijelölt infrastruktúra-listát az összeállítást követően szigorú minősítéssel látják el, ennek megfelelően korlátozott a megismerhetősége. Szintén fontosnak tartom kiemelni a kijelölt infrastruktúrák és különféle rendszerek és eszközök kezelői, üzemeltetői állományának kérdését. Esetükben olyan speciális felkészültséggel és tapasztalattal kell számolni, amelynek kiesése rendkívüli kihívások elé állíthatja a kijelölt infrastruktúrák működőképességét, ezért javaslom rendszerelemként történő besorolásukat.

## A drónelhárítás jogi kérdései

Természeteszerű, hogy az előző fejezetben ismertetett infrastruktúrák ellenálló képessége<sup>11</sup> biztosításának és fenntartásának igénye nem a drónok jelentette kihívás eredményeként keletkezett. A veszélyeztetető tényezők valamennyi alágazat esetén szintén érvényesek: civilizációs eredetű és technológiai veszélyek; természeti eredetű veszélyek; szándékos cselekmények okozta veszélyek.

Utóbbiak csoportjába tartoznak a terrorizmus, a felforgatás, a szabotázs céljával vagy motivációjával elkövetett cselekmények, de a kiváltott hatás, valamint a szükséges felkészültség szempontjából idesorolhatjuk a katonai műveleteket is. Mindezen területeken megfelelő eszközök lehetnek az elkövetők kezében a megfelelően megválasztott, átalakított és különféle szenzorokkal vagy akár robbanóeszközökkel felszerelt drónok.<sup>12</sup> Ennek megfelelően a vonatkozó jogi szabályozás áttekintésének szintén kiemelkedő jelentősége van.

<sup>10</sup> A 2021. évi CXL. törvény 3. § 14. alapján.

<sup>11</sup> A 2024. évi LXXXIV. törvény 3. § 8. alapján.

<sup>12</sup> VÉGH–DARUKA 2024.

Véleményem szerint az elsődleges idevonatkozó jogszabály a 4/1998. (I. 16.) Korm. rendelet, amely a magyar légtér igénybevételének szabályait és ezzel párhuzamosan az erre vonatkozó tiltásokat is felsorolja. A jogszabály 4/A. § az UAS<sup>13</sup>-műveletek tiltására vonatkozóan tartalmaz információt, amelynek értelmében – és egyéb kategóriák mellett – UAS-művelet nem végezhető:

- a) az állam működése, illetőleg a lakosság ellátása szempontjából kiemelten fontos létesítmények köréről szóló 24/1997. (III. 26.) BM rendeletben meghatározott, az állam működése szempontjából kiemelten fontos létesítmények 300 méteres körzete feletti légtérben;
- b) a kritikus szervezetek ellenálló képességéről szóló törvény alapján kijelölt kritikus infrastruktúra, valamint a védelmi és biztonsági tevékenységek összehangolásáról szóló törvény<sup>14</sup> alapján kijelölt, az ország védelme és biztonsága szempontjából jelentős infrastruktúra 300 méteres körzete feletti légtérben.

A 24/1997. (III. 26.) BM rendelet 1. § h) pontja értelmében: „a honvédelmi, a határőrségi, a polgári nemzetbiztonsági szolgálati, a polgári védelmi alapfeladatok ellátását szolgáló létesítmények.” Ennek értelmében tehát valamennyi honvédelmi létesítmény 300 méteres körzete feletti légtérben tilos az UAS-műveletek végzése.

A jogszabályi keretek, úgy gondolom, hogy tisztázottak, és megfelelőek arra, hogy jogsértés esetén a tiltott drónműveleteket, illetve az azokat elkövetőket szankcionálni lehessen. A szankcionálás különféle jogi vonatkozásainak ismertetése nem tartozik közvetlenül a dolgozat témájához, viszont úgy gondolom, hogy a fizikai fellépés, praktikusán a drónelhárítás jogi kérdései megkerülhetetlenek.

Ebben a tekintetben irányadó a pilóta nélküli légijármű-védelem veszélyhelyzeti intézkedéseiről és a védelemmel összefüggő együttműködés rendjéről szóló 33/2025. (III. 5.) Korm. rendelet, amely – különleges jogrend fennállásának ideje alatt – szabályozza annak körülményeit, hogy mely szervezetek, infrastruktúrák kötelesek drónvédelmi rendszert telepíteni és működtetni. Természetesen mindezt úgy, hogy figyelembe veszi és alkalmazza a védelmi és biztonsági tevékenységek összehangolásáról szóló 2021. évi XCIII. törvény előírásait is. A jogszabály értelmében a polgári nemzetbiztonsági szolgálatok irányításáért, valamint a honvédelemért felelős miniszter javaslatára a Védelmi Tanács jelöli ki azon infrastruktúrát, amelynek drónokkal végrehajtott jogosulatlan megfigyelés vagy támadás elleni C-UAS-t<sup>15</sup> kell üzemeltetni az alábbi tervezési szempontok alapján:<sup>16</sup>

- a) a pilóta nélküli légi járművel végrehajtható támadás kockázatai;
- b) a támadástól kiemelten védendő részterületek;
- c) az alkalmazott C-UAS-technológiák;
- d) a C-UAS telepítési helye, irányítotttsága;

<sup>13</sup> UAS: Unmanned Aircraft System – pilóta nélküli légijármű-rendszer.

<sup>14</sup> 2021. évi XCIII. törvény.

<sup>15</sup> C-UAS: Counter Unmanned Aircraft System – pilótán nélküli légijármű-védelmi rendszer [33/2025. (III. 5.) Korm. rendelet szerinti megfogalmazás].

<sup>16</sup> A 211/2025. (VII. 17.) Korm. rendelet alapján.

- e) a technológiák telepítésénél tiltott eljárások, megoldások;
- f) a védelmi zóna méretei;
- g) a tervezett leszállítási zónák.

Úgy vélem, hogy a jogszabály kellő alapot nyújt a tervezési feladatokhoz, és figyelembe veszi a kijelölt infrastruktúrák környezetét és elhelyezkedését is, amelyek kétségtelenül hatással lesznek az alkalmazott C-UAS-technológiákra az adott lokációkban.

A jogi háttér ismertetésének befejezéseként a C-UAS-ek telepítésére felhatalmazottak köre a 4/1998. (I. 16.) Korm. rendelet, 9/A. §:

- (2) bekezdése alapján: feltartóztatható (elfogható), azonosítható, működése elektronikai úton zavarható, leszállásra felszólítható, valamint elektronikai vagy mechanikai úton földre kényszeríthető a pilóta nélküli légi jármű.
- (3) bekezdése alapján: a (2) bekezdés szerinti intézkedésre a Magyar Honvédség, a Katonai Nemzetbiztonsági Szolgálat, az Alkotmányvédelmi Hivatal, a Nemzetbiztonsági Szakszolgálat, az Információs Hivatal, a Terrorelhárítási Központ, az Országgyűlési Őrség, a belügyminiszter irányítása alatt álló rendvédelmi feladatokat ellátó erre kijelölt szervek jogosultak.

A honvédelemről és a Magyar Honvédségről szóló 2021. évi CXL. törvény 59. § (1) e) pontja alapján a Magyar Honvédség fegyverhasználati joggal látja el az ország védelme és biztonsága szempontjából jelentős honvédelmi kijelölésű infrastruktúrák, illetve honvédelmi szempontból fokozott védelmet igénylő létesítmények őrzését-védelmét.

## A drónvédelem és annak kihívásai

A drónvédelem vonatkozásában rendelkezésre álló szakirodalom, elfogadott és bevezetett szabályzók és szabályzatok vonatkozásában ki lehet mondani, hogy van még hely a fejlődésre. Meggyőződésem szerint ez pusztán azért van így, mert viszonylagosan új fenyegetésről van szó, amelynek felismerése és az arra adott helyes válaszok kidolgozása között rendkívül rövid idő telt el.

A NATO-tagállamok részére jelenleg egy olyan STANAG áll rendelkezésre,<sup>17</sup> amely megfelelő alapot biztosít a témakör adaptációjára és alapvető következtetések levonására, azonban meg kell jegyezni, hogy korlátozott azon drónkategóriák köre (a NATO Class I kategória), amelyre kiterjed (1. táblázat).

Ennek megfelelően természetesen lázas munka folyik a fenyegetés jobb megértését szolgáló ismeretanyagok összegyűjtésén és azok rendszerezésén keresztül. Ugyanakkor azt is el kell mondani, hogy jelenleg ez a feladat tulajdonképpen az egyes nemzetek katonai vezetése, ügynökségei és a nemzetközi katonai szervezet feladatai között jelenik meg. A C-UAS elméleti

<sup>17</sup> NATO STANAG 2663 Countering Class I Unmanned Aircraft Systems.

kérdéseivel annak légvédelmi természetéből adódóan az IAMD COE,<sup>18</sup> a modifikált drónok technikai és taktikai kérdéseivel többek között a C-IED COE<sup>19</sup> foglalkozik.

1. táblázat: A katonai és polgári felhasználású drónok osztályozása

| Nemzeti   |                 | NATO                               |                                       | Elméleti hatósugár             | Alkalmazási magasság | Alkalma-zási szint |
|-----------|-----------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------|
| Kategória | Felszálló tömeg | Osztály                            | Altípus                               |                                |                      |                    |
| E         | >600 kg         | III. osztályú (NATO Class III)     | HALE (high altitude long endurance)   | Korlátozás nélkül (kb. 20 óra) | 65 000 láb           | Stratégiai         |
|           |                 |                                    | MALE (medium altitude long endurance) |                                | 45 000 láb           | Hadmű-veleti       |
| D         | 150–600 kg      | II. osztályú (NATO Class II)       | Tactical 150–600 kg                   | ~200 km                        | 18 000 láb           | Harcászati         |
| C         | 25–150 kg       | I. osztályú (NATO Class I) <150 kg | Small >15 kg                          | ~50 km                         | 5000 láb             | Harcászati         |
| B1, B2    | 4–25 kg         |                                    | Mini <15 kg                           | ~25 km                         | 3000 láb             | Harcászati         |
| A1, A2    | <4 kg           |                                    | Micro <2 kg                           | ~5 km                          | 200 láb              | Harcászati         |

Forrás: a szerző szerkesztése a 38/2021. (II. 2.) Korm. rendelet és a NATO STANAG 2663 alapján

### A drónok sokszínűsége

A fenti táblázat egyértelműen rámutat arra, hogy a drónokat méretük, felszereltségük, funkciójuk és egyéb karakterisztikájuk alapján számtalan megközelítésből fel lehet osztani. Szinte az összes fentebb bemutatott kategória megjelenik az orosz–ukrán konfliktusban, ami nem meglepő, tekintve a drónokkal végrehajtott támadások hatékonyságát. A konfliktusban alkalmazott drónok jellemzőiket tekintve két fő kategóriába sorolhatók: katonai vagy polgári célú felhasználásra készült rendszerek. Kialakításuk szerint egyszer használatos és többször használható rendszerekről beszélhetünk.

A katonai drónokat alapvetően harci alkalmazásra tervezték, ami azt jelenti, hogy különféle védelmi berendezésekkel vannak felszerelve, ellenállnak az elektromágneses zavarásnak és a kibertámadásoknak, így nehezen észlelhetők és nehezen semlegesíthetők. Az ilyen eszközök kezelői speciális kiképzésen vesznek részt, felkészítésük vagy helyettesítésük időigényes

<sup>18</sup> IAMD COE: Integrated Air and Missile Defence Centre of Excellence.

<sup>19</sup> C-IED COE: Counter Improvised Explosive Devices Centre of Excellence.

folyamat. Az orosz fél által preferált újrafelhasználható katonai drónok kezdetben az Orlan–10 és a Zala különféle változatai voltak, míg az egyszer használatos drónok közül a Lancet és a Shahed típus érdemel említést. Az ukrán fél az újrafelhasználható kategóriában a Leleka–100, a Furia és a PD–1 típust részesítette előnyben, míg az öngyilkos küldetésekre a Switchblade 300 és a Warmate típust alkalmazta. Természetesen mindkét fél rendelkezik MALE<sup>20</sup> eszközökkel: az orosz oldalon ilyen a Forpost és az Orion, míg az ukrán oldalon a hírhedt Bayraktar TB2 található meg.<sup>21</sup>

Az egyszer és többször használatos felosztás érvényes a kereskedelmi forgalomban elérhető, úgynevezett COTS<sup>22</sup>-drónokra is. Ezen jelenlegi formájukban ismert eszközök megjelenése a 2000-es évek elejére tehető, elsősorban nem állami szereplők és egyes terrorcsoportok használatában.<sup>23</sup> Az FPV (First Person View) kifejezés feltehetően azon kis méretű pilóta nélküli légi járművek analógiájaként született, amelyeket módosított robbanószerkezetekkel láttak el.

A többször használható eszközök közé tartoznak azok, amelyek rendelkeznek kioldószerkezettel, és képesek gránátok célba juttatására gyalogság vagy páncélozott járművek ellen, illetve olyan típusok is, amelyek kézi lőfegyvert, páncéltörő eszközt vagy gyújtóanyagot képesek szállítani.<sup>24</sup> Az egyirányú csoportba irányított vagy körkörös vagy irányított hatású, valamint EFP<sup>25</sup> robbanótöltettel felszerelt drónok tartoznak. Ebbe a csoportba sorolhatók továbbá azok az öngyilkos drónok is, amelyek módosított páncéltörő gránátot szállítanak – az úgynevezett improvizált FPV cirkáló lövész típusok.

Összességében úgy gondolom, hogy jelenleg a COTS-drónok jelentik az egyik legszélesebb körű problémát a honvédelmi szempontból fontos infrastruktúrák védelme vonatkozásában. A megfigyelési, hírszerzési, zavaró és támadó eszközökkel felszerelt drónok alacsony detektálhatósága, a rendkívül alacsony magasságú alkalmazás lehetősége, valamint a drónok egyéb tulajdonságai és képességei és ezek folyamatos és gyors fejlődése rendkívüli kihívás elé állítja a drónvédelmet.<sup>26</sup>

## Drónvédelem vagy drónelhárítás

A bemutatott STANAG a drónvédelem szempontrendszerének vizsgálata során a C-UAS terminológiát használja, annak képességeit az aktív és passzív tevékenységekre osztja fel. A hazai tanulmányok egyaránt alkalmazzák a drónvédelem, a drónelhárítás és a drón-ellen-tevékenység fogalmát.

A drónvédelem fogalmi meghatározása véleményem szerint nem más, mint az erők, az eszközök és az infrastruktúra drónok által okozott káros hatások elleni védelme érdekében folytatott olyan tevékenységek összessége, amelyek során az érintett szakterületek

<sup>20</sup> MALE: Medium Altitude Long Endurance – közepes magasságú, hosszú üzemidejű.

<sup>21</sup> PETTYJOHN 2024.

<sup>22</sup> COTS: Commercial Off-the-Shelf – kereskedelmi forgalomban beszerezhető.

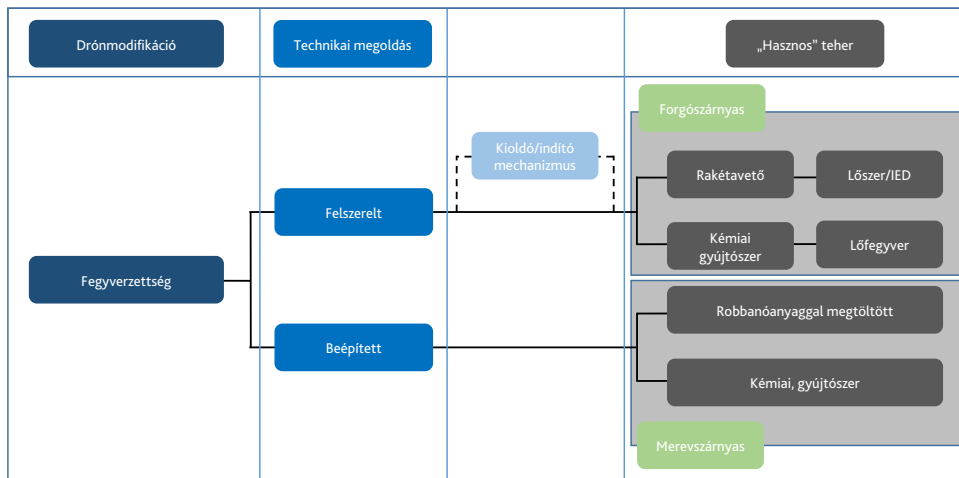
<sup>23</sup> VÉGH 2024.

<sup>24</sup> KOVÁCS 2013.

<sup>25</sup> EFP: Explosive Formulated Projectile – robbanótöltet által formált lövedék.

<sup>26</sup> KOVÁCS–EMBER 2021, 2022.

összehangolt munkájának eredményeképpen megelőzhető, elhárítható vagy minimalizálható a drónokkal történő károkozás. Ez tehát a cél, amelyet a C-UAS keretein belül aktív és passzív eszközökkel és eljárásokkal lehet elérni, miközben szinte nyilvánvaló, hogy százszázalékos drónelhárítás jelenleg nem áll rendelkezésre.

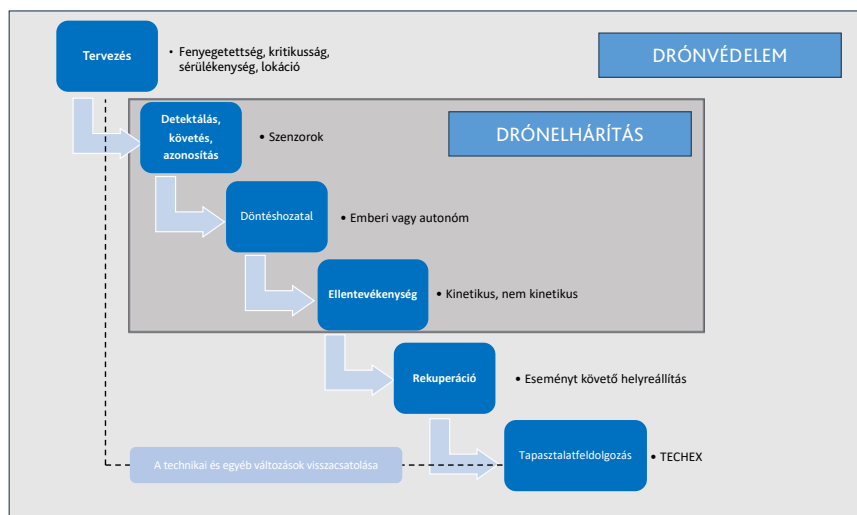


1. ábra: A modifikált drónok fegyverzettségük szerinti felosztása

Forrás: a szerző szerkesztése

A jelen pillanatban is elérhető, alapvetően a különféle szenzorokkal támogatott EHV<sup>27</sup>-alapú, nem kinetikus rendszerek valószínűleg a jövőben is meghatározó szegmensét fogják adni a lehetséges megoldásoknak, viszont a mesterséges intelligencia ilyen vonatkozású alkalmazását is javasolt napirendre tűzni. Szintén nem szabad megelégedni a passzív kategóriát képviselő erősítésben, az álcázásban és a megtévesztésben rejlő lehetőségekről.

<sup>27</sup> EHV: elektromágneses hadviselés.



2. ábra: A drónvédelem és a drónelhárítás kapcsolata és folyamata

Forrás: a szerző szerkesztése

## Összegzés

A drónelhárító rendszerek fejlődésének üteme próbál lépést tartani a drónokéval. A legújabb fejlesztések a rendszerek alkalmazhatóságának és időtállóságának ígéretével kecsegtetnek, miközben azok költségei egyre magasabbra rúgnak. Itt tehát máris keletkezik egyféle dilemma annak kapcsán, hogy az azonnali megoldások vagy a tudományos és technológiai fejlődés eredményeként egy későbbi időpontban kifejlesztett vagy feltalált rendszerbe kell-e a bizalmat és a forrásokat fektetni.

Mindettől függetlenül azonban úgy gondolom, hogy a jogszabályi előírások által felsorolt tervezési alapelvek, kiegészülve a drónvédelem egészére kiterjedő szempontrendszerrel, valamint az akár napi szinten megjelenő újabb típusú kihívások értelmezésére és rendszerezésére képes tudással, kellő alapot biztosíthatnak a fenyegetésre adható műszaki és eljárásbeli válaszok kialakítására. Összefoglalva tehát a drónvédelem kérdéseire a honvédelem, az ipar és a tudomány együttes erőfeszítései szolgálhatnak megoldásokkal.

## Felhasznált irodalom

- CSURGÓ Attila – KÁLLAI Ernő – ZSÓRI Ferenc (2024): Az orosz műszaki tevékenység jellemzői az orosz–ukrán háborúban. *Honvédségi Szemle*, 152(3), 33–45. Online: <https://www.doi.org/10.35926/HSZ.2024.3.3>
- DARUKA Norbert (2022): A kritikus infrastruktúrák veszélyeztetettsége a robbanóanyagok jogellenes felhasználásának tükrében. In HORVÁTH Richárd – LUKÁCS Judit – STADLER Róbert Gábor (szerk.): *Mérnöki Szimpózium a Bánkin előadásai*. Proceedings of the Engineering Symposium at Bánki (ESB 2022). Budapest: Óbudai Egyetem, 104–109.

- DARUKA, Norbert (2025): Critical Infrastructure Risks from Sabotage. In KOVÁCS, T. A. – I. FÜRSTNER, I. (szerk.): *Critical Infrastructure Protection: Advanced Technologies for Crisis Prevention and Response*. Dordrecht: Springer, 129–139. Online: [https://www.doi.org/10.1007/978-94-024-2308-2\\_9](https://www.doi.org/10.1007/978-94-024-2308-2_9)
- DÉNES Kálmán – KOVÁCS Zoltán (2019): Létesítmények közműrendszereinek robbantásos cselekmények általi veszélyeztetettsége és védelme. *Hadtudományi Szemle*, 12(Ksz), 77–85. Online: <https://doi.org/10.32563/hsz.2019.1.ksz.5>
- KOVÁCS Ferenc (2024): A kritikus infrastruktúra stratégiai szerepe az orosz–ukrán háborúban. *Hadtudomány*, 34(3), 29–39. Online: <https://doi.org/10.17047/HADTUD.2024.34.3.29>
- KOVÁCS Zoltán (2013): Katonai objektumok IED elleni védelmének lehetséges technikai megoldásai. *Műszaki Katonai Közlöny*, 23(2), 114–121. Online: <https://www.folyoirat.ludovika.hu/index.php/mkk/article/view/2438/1711>
- KOVÁCS Zoltán – EMBER István (2021): Aknafelderítés légi eszközökkel. *Műszaki Katonai Közlöny*, 31(4), 5–20. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2021.4.1>
- KOVÁCS, Zoltán – EMBER, István (2022): Landmine Detection with Drones. *Revista Academiei Forțelor Terestre / Land Forces Academy Review*, 27(1), 84–92. Online: <https://doi.org/10.2478/raft-2022-0012>
- NATO STANAG 2663 Countering Class I Unmanned Aircraft Systems.
- PETTYJOHN, Stacie (2024): Evolution Not Revolution – Drone Warfare in Russia's 2022 Invasion of Ukraine. *CNAS*, 2024. február 8. Online: <https://www.cnas.org/publications/reports/evolution-not-revolution>
- SZALKAI László – DARUKA Norbert (2022): The Dangers of Unmanned Aircraft Systems. In DARUKA Norbert (szerk.): *Fúrás-robbantástechnika nemzetközi szimpózium különnkiadás 2022*. [H. n.]: Magyar Robbantástechnikai Egyesület, 247–257.
- Unmanned Aircraft Systems (UAS) Technical Exploitation Lexicon* (2017). Online: <https://www.ciedcoe.org/index.php/products?view=article&id=84:dtd-reference-docs&catid=24>
- UNMAS [é. n.]: Improvised Explosive Device Lexicon. Online: [https://www.unmas.org/sites/default/files/unmas\\_ied\\_lexicon\\_0.pdf](https://www.unmas.org/sites/default/files/unmas_ied_lexicon_0.pdf)
- VÉGH Krisztián – DARUKA Norbert (2024): Protection Against Civil and Military Drones – So that the "Blessing" Does Not Come from Above. In DARUKA Norbert – EMBER István – KOVÁCS Zoltán Tibor (szerk.): *III. Fúrás-robbantástechnika nemzetközi szimpózium különnkiadás 2024*. Budapest: Magyar Robbantástechnikai Egyesület, 216–226.
- VÉGH Krisztián (2024): A repülő IED, mint harctéri innováció. In DARUKA Norbert – EMBER István – KOVÁCS Zoltán Tibor (szerk.): *III. Fúrás-robbantástechnika nemzetközi szimpózium különnkiadás 2024*. Budapest: Magyar Robbantástechnikai Egyesület, 80–93.

## Jogi források

2021. évi XCIII. törvény a védelmi és biztonsági tevékenységek összehangolásáról
2021. évi CXL. törvény a honvédelemről és a Magyar Honvédségről
2024. évi LXXXIV. törvény a kritikus szervezetek ellenálló képességéről
- 211/2025. (VII. 17.) Korm. rendelet a pilótánélküli légijármű-védelem és a védelemmel összefüggő együttműködés rendjéről
- 359/2015. (XII. 2.) Korm. rendelet a honvédelmi létfontosságú rendszerelemek azonosításáról, kijelöléséről és védelméről
- 475/2024. (XII. 31.) Korm. rendelet az ország védelme és biztonsága szempontjából jelentős szervezetek ellenálló képességéről



Horváth Zoltán<sup>1</sup> 

# Az éghajlatváltozás hatásai az energetikai infrastruktúrákra – stratégiai szabályozók és szakpolitikák elemzése

## Effects of Climate Change on Energy Infrastructures – Analysis of Strategic Regulators and Policies

*Az éghajlatváltozás jelentette kihívások, az energiaválságok, illetve a globalizálódó világ egymásra, gazdasági közösségekre, nemzetállamokra gyakorolt hatása gyakorta védelmi/biztonsági kérdéssé is válhat. Kérdésként vetődik fel, milyen biztonsági kihívások jelentkeznek az éghajlatváltozással kapcsolatban. Cikkemben megvizsgálom a stratégiai szabályozások/szakpolitikák rendelkezésre állását az energiabiztonság rendszere számára, illetve vizsgálom a komplex biztonság értelmezését az energiaválságok és a klímaválság biztonsági aspektusaira.*

**Kulcsszavak:** energia- és klímaválság, komplex biztonság, energiastratégia, energiabiztonság

*The challenges posed by climate change, energy crises, and the impact of the globalisation on each other, economic communities and nation states can often become defence/security issues. The question arises as to what security challenges climate change poses. In my article, I examine the availability of strategic regulations/professional policies for the for the energy security system, and explore the impact of the complex inerpretation of security on the security aspects of energy crises and the climate crisis.*

**Keywords:** energy and climate crisis, complex security, energy strategy, energy security

---

<sup>1</sup> Főreferens, Nemzeti Közzolgálati Egyetem Rendészettudományi Kar Rendvédelmi Tagozat, e-mail: [horv-zoli.1976@gmail.com](mailto:horv-zoli.1976@gmail.com)

## Bevezetés

A 20. században a világ népessége 1,8 milliárdról 7,8 milliárdra emelkedett. Az Egyesült Nemzetek Szervezete (ENSZ) 2022. július 11-én közzétett világnépessédségi kilátásokról szóló jelentése szerint ez a szám már átlépte a 8 milliárdot.<sup>2</sup> A népesség ilyen ütemű emelkedése hatással van a bioszférára, számos ökológiai, humán jellegű dilemmát generálhat.<sup>3</sup> Napjaink globális kihívásai között olyan indikátorok említendők meg, mint a széntermelés hétszeresére történő emelkedése, az energiafogyasztás megtízszereződése. A modern társadalmak életszínvonalának fenntartása rendkívül energiaigényes, és az energia folyamatos biztosítása gazdasági és társadalmi feszültségeket okozhat. Az éghajlatváltozás, az energiaválságok és a globalizáció hatásai biztonsági kérdésekké válhatnak. A biztonsági kihívások között szerepelnek az erőforrás-szűkösség miatti konfliktusok (például a vízhez való hozzáférés), a létfontosságú infrastruktúrák veszélyei (például kiberbiztonság), a területvesztés és az élelmezési gondok, a migrációs jelenségek, valamint az energiaellátási kockázatok, ideértve a szénhidrogén-tartalékokhoz való hozzáférést és az atomenergia körüli döntéshozói bizonytalanságokat.

Cikkemben megvizsgálom a komplex biztonságot az energiaválságok és a klímaválság biztonsági aspektusainak függvényében, és elemzem, hogy milyen elsődleges stratégiai szabályozások/szakpolitikák állnak rendelkezésre az energiabiztonság érdekében. Egy következő publikációban tervezem vizsgálni, hogy milyen hatások jelentkeznek az energiarendszerekkel kapcsolatban, amelyek kihatnak a közép- és hosszú távú működtetésre, és ezzel összefüggésben milyen teendők prognosztizálhatók, egyfajta „kihívásként” Magyarország számára, illetve milyen ismert feladatok jelentkeznek, és azok mekkora költségeket jelentenek a következő évtizedekben.

## A komplex biztonság értelmezése: az energiaválság és a klímaválság biztonsági aspektusai

A *Hadtudományi Lexikon*ban a biztonságra vonatkozóan az alábbiakat olvashatjuk: „a biztonság a fenyegetettség hiányát vagy kivédésének képességét jelenti [...] leggyakoribb tárgya és viszonyítási pontja az állam, amely akkor tekinthető biztonságosnak, ha hatékony védelmet nyújt a létét, függetlenségét és területi integritását kívülről vagy belülről fenyegető veszélyekkel szemben”.<sup>4</sup> A biztonságot komplex tényezőként szükséges kezelni, amely alapvetően határozza meg egy ország, az abban működő társadalmi, gazdasági, politikai berendezkedés mindennapjait.

Alaphelyzetként tekinthetjük, amiről az elmúlt évtizedek kutatásai is szólnak: a természeti erőforrásaink korlátozott rendelkezésre állása, azok hozzáférési nehézségei, tulajdonosi viszonyai jelentette problémák és az azok miatt bekövetkező biztonsági kihívások. Az adott ország

<sup>2</sup> A háztartási energiaköltségek aránya a rendelkezésre álló jövedelmek arányában 2022: 1.

<sup>3</sup> A 20. század második felében megjelent az elsivatagosodás, az ózonréteg ritkulása, az élővíz szennyeződése, a városi levegőtminőség-romlás tarthatatlansága, a természeti erőforrások rohamos kimerülése, megismerkedtünk az olajcsúcs, a vízcsúcs fogalmával.

<sup>4</sup> KRAJNC 2019: 100.



1. ábra: A komplex biztonság összetevői  
 Forrás: HERVAINÉ SZABÓ 2015

vonatkozásában jelentkező elsődleges veszélyeztető tényező – kiindulva az energiahordozók országhatáron belüli rendelkezésre nem állásából – a magas importfüggőség. A Kádár Pál által szerkesztett *A védelmi és biztonsági szabályozás magyarországi reformja* című kiadványból idézve: „a nemzetgazdaság biztonsági célú felkészítésének kiemelt fontosságú tényezője az energiabiztonság, azon belül is az energiabehozatal diverzifikációja, illetve kitettség/függőségmentes ellátás biztosítása, a lakossági és ipari fogyasztáshoz szükséges energiahordozókból.”<sup>5</sup>

A komplex biztonság értelmezésének összetevőitől nem elválasztható az energiabiztonság kérdése. A komplex biztonság összetevőit az 1. ábra szemlélteti.

Az energiabiztonság összetevője a külső és belső energiaellátás, a gazdaság, a technológia, a környezet, a társadalom és a kultúra, valamint a honvédelem. Dobos Edina<sup>6</sup> cikkében hangsúlyozza, hogy az energiabiztonsági stratégiai célok megfogalmazásakor szükséges figyelembe venni az energiaellátás dimenzióit időben és térben. A komplex biztonság mellett fontos a szubjektív biztonságérzet vizsgálata is, amelyet Tóth Péter és Horváth Helga<sup>7</sup> elemeznek cikkükben a jóllét aspektusain keresztül. A külső és belső veszélyek hatással vannak az ország biztonságára, gazdaságára és a társadalmi folyamatokra. Az orosz–ukrán háború utáni energiakrízis és az éghajlatváltozás kapcsolata napjaink kiemelkedő problémájává vált.

Közel egy évszázada ismert tény, hogy az éghajlatváltozást előidéző elsődleges tényező az ember termelői, fogyasztói és szolgáltatói magatartása. Mindez együtt jár a nagy anyag- és energiaigénnyel, a hulladéktermelés növekedésével és az erőforrás-felhasználás „hatékonyságával”. Lányi András írja: „fejlődésről akkor beszélünk, ha a teljesítmény javulása

<sup>5</sup> KÁDÁR 2023: 162.

<sup>6</sup> DOBOS 2010: 36–44.

<sup>7</sup> TÓTH–HORVÁTH 2012: 2.

a rendelkezésre álló erőforrások gyarapodásával jár. [...] »fenntartható fejlődés« jelszava a hatékonyság: az erőforrások gazdaságosabb kiaknázása a stabil, vagy növekvő teljesítmény érdekében.”<sup>8</sup> Lányi a felelőtlen, értelmetlen, káros és egészségre ártalmas technológiák (atomenergia, nanotechnika, génmanipuláció) alkalmazását a fenntarthatóság fogalmával összeférhetetlennek tartja.

A Római Klub 1972-es *A növekedés határai*<sup>9</sup> jelentése szerint a világ jövőbeli növekedése korlátozott és összeomlással fenyeget. A rendszerben gondolkodás révén a változás hozhat komparatív előnyöket. 1992-es tanulmányuk<sup>10</sup> megerősítette, hogy az energiatárolás elkerülhetetlen. A 2006-os Stern-jelentés<sup>11</sup> a klímaváltozás gazdasági hatásait vizsgálja, és arra figyelmeztet, hogy a korai, határozott cselekvés előnyei – a károk elkerülése révén – lényegesen meghaladják a költségeket. Berlinger Edina és Lovas Anita tanulmányukban a Stern-jelentés legfontosabb következtetéseit a következők szerint foglalták össze: a klímaváltozás veszélyezteti az alapvető emberi szükségletek kielégítését, és hatása nem egyenletesen oszlik meg, a szegényebb országok szenvednek először; a gyors kormányzati beavatkozás előnyei meghaladják a költségeket; az áttérés a tiszta energiákra növekedési lehetőségeket kínál, de sürgős állami támogatás szükséges a folyamat felgyorsításához.<sup>12</sup>

2015-ben az Egyesült Nemzetek Szervezete a fenntartható fejlődési csúcstalálkozón elfogadta az Agenda 2030 fenntartható fejlődési keretrendszerét, amelynek célja, hogy 2030-ig felszámolja a szegénységet, kezelje az egyenlőtlenségeket, és megbirkózzon az energiatranszformációval. A keretrendszer célkitűzései közé tartozik a fenntartható vízgazdálkodás, a megfizethető és megbízható energia biztosítása, valamint az alkalmazkodó infrastruktúra és a fenntartható iparosodás támogatása. Cél a fenntartható, biztonságos városok és lakóhelyek kialakítása, a fenntartható fogyasztás és termelés, a sürgős lépések megtétele a klímaváltozás ellen, valamint az óceánok, a tengerek, az ökoszisztémák és a biológiai sokféleség védelme is kiemelt feladat.<sup>13</sup>

Napjainkban gyakran találkozunk az energetikai fordulat, fogyatkozó készletek, ellátásbiztonsági kockázat, energiatárolás, környezeti károk, megújuló energia és globális felmelegedés kifejezéssel. A Copernicus Éghajlatváltozási Szolgálat adatai alapján a 2022. évben volt a valaha volt legmelegebb nyár, és a nevezett év volt a legmelegebb év. 2019-hez képest 0,95–1,2 °C-kal volt magasabb az átlaghőmérséklet. A 2 °C-os hőmérséklet-növekedés mint határérték jelenti azt a lélektani értéket, amelynek elkerülése lenne a cél.<sup>14</sup> Az 1990-es évek után elindult az energiarendszerek decentralizációja, a lokális kis teljesítményű erőművek térnyerésével. A fenntartható energiagazdálkodás megerősödését több tényező is támogatta, például a csernobili atomerőmű-katasztrófa és a nukleáris energia problémái, mint az atomhulladékok kezelése. A „gondolkozz globálisan, cselekedj lokálisan” elve alapján átalakult az energiatervezés

<sup>8</sup> LÁNYI 2019: 1.

<sup>9</sup> MEADOWS et al. 1972.

<sup>10</sup> MEADOWS–MEADOWS–RANDERS 1992.

<sup>11</sup> STERN 2006.

<sup>12</sup> BERLINGER–LOVAS 2015: 7.

<sup>13</sup> *Világunk átalakítása: Fenntartható Fejlődési Keretrendszer 2030* [é. n.]: 19.

<sup>14</sup> SIPOSHEGYI 2023: 1.

multidiszciplináris szemléletben a klímahatásoktól a gazdaság fenntarthatóságán át a jólét teljes vertikumára vonatkozóan.

A bekövetkezett energiaválságra adott válaszok függvényében a globális energiaellátás és energiabiztonság kérdései továbbra is megoldásra várnak, illetve szükséges a felmerülő problémák közép- és hosszú távú megoldásainak folyamatos vizsgálata, a megfelelő stratégiák és az azok végrehajtására vonatkozó lépések „egyfajta útjelző cövekek” meghatározásával. Carl von Clausewitz<sup>15</sup> szerint a stratégia alapelvei inkább irányt mutatnak, semmint végrehajtási utasításokat adnak. A stratégia tehát nem a cselekvést magát irányítja, hanem annak alapját képezi, amelyhez a végrehajtási feltételek szükségesek. Cyrus Thorpe<sup>16</sup> a stratégia, taktika és logisztika egységére épít, amelyek együttesen biztosítják a stratégiai célok elérését. A stratégia tehát a vízió meghatározása, de mérhető lépések és sarokkövek is szükségesek a végrehajtás sikeréhez. Az energiához való hozzáférés, az energiabiztonság és az energiaellátás a nemzetállamok szempontjából az egyik legfontosabb stratégiai kérdés, mivel ezek közvetlenül befolyásolják a gazdaság és a társadalom működését, így elengedhetetlen, hogy az éghajlatváltozás és az energiarendszer átalakítása mint a kritikus infrastruktúra védelme megfelelő figyelmet kapjon, hiszen az átalakítás fenntartható és hosszú távú megoldásokat csak akkor nyújthat, ha a nemzetgazdasági és globális szereplők képesek stratégiai szinten összehangolni érdekeiket és céljaikat.

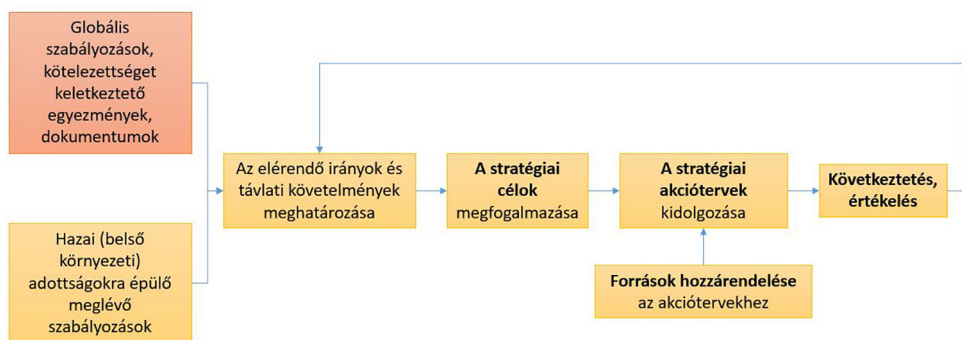
## Globális és hazai stratégiai szabályozások, szakpolitikák az energetika területén

A stratégiai szabályozásokat vertikálisan, a stratégia-taktika-logisztika hármas egységére építve, valamint horizontálisan, a globális környezettől a hazai sajátosságokig terjedő vertikumban érdemes áttekinteni. Egy dokumentum stratégiai jellegét akkor tekinthetjük biztosítotttnak, ha átfogó, hosszú távú célokat és végrehajtási időpontokat határoz meg, míg taktikai jellegűnek, ha a stratégiai célok eléréséhez szükséges konkrét szabályokat és feladatokat rögzíti, illetve az ágazati stratégiában meghatározott cselekvési tervet tartalmaz. A stratégiai szabályozások tervezési folyamatát a 2. ábrán foglalom össze.

A tervezési folyamat elemeit tekintve a globális szabályozások, kötelezettséget keletkeztető egyezmények, dokumentumok hazai jogszabályba illesztése elsődleges feladatként jelentkezik a jogalkotásban. Az energiasztratégia olyan tervezett és koordinált intézkedések összessége, amelyek meghatározzák az ország vagy globális gazdasági egység hosszú távú energiatermelési, -felhasználási és -ellátási céljait. Az energiasztratégia megalkotásának elsődleges célja az éghajlatváltozás negatív hatásainak ellensúlyozása és csökkentési lehetőségeinek számbavétele, az energiabiztonság biztosítása érdekében a rugalmas reagálás képességének kialakítása, az energiához való hozzáférés és zavartalan ellátás garantálása, valamint cselekvési tervek kidolgozása a fenntartható túlélés, jólét, ellátásfolytonosság és kockázatminimalizálás érdekében.

<sup>15</sup> VON CLAUSEWITZ 1961–1962: 133.

<sup>16</sup> THORPE 1917: 139.



2. ábra: A stratégiaszabályozás-tervezés egyszerűsített ábrája

Forrás: a szerző szerkesztése

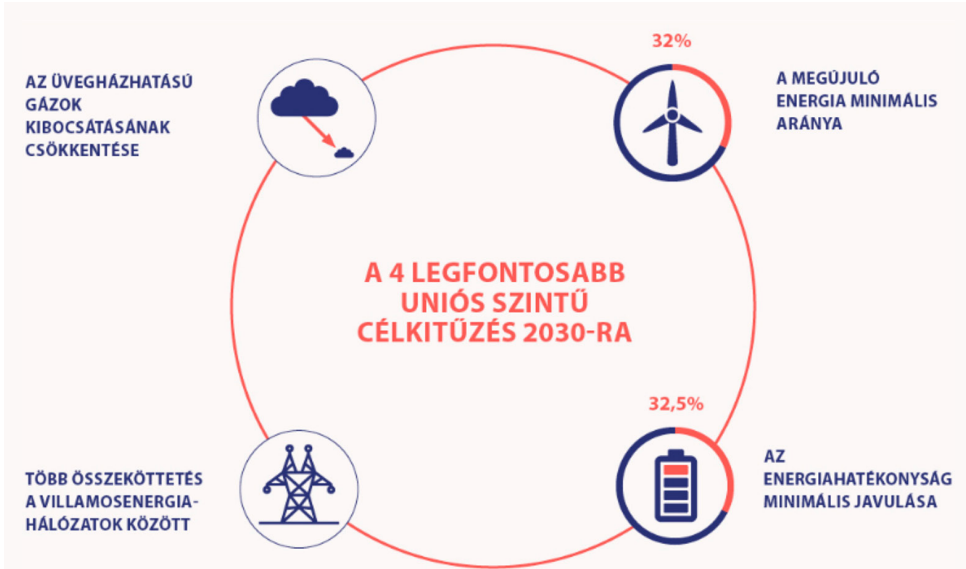
Az Országgyűlés 2007-ben elfogadta az ENSZ éghajlatváltozási keretegyezményének és a kiotói jegyzőkönyvnek a végrehajtásáról szóló 2007. évi LX. törvényt (a továbbiakban: kerettörvény). A törvényben vállaltuk a nemzeti szintű éghajlatváltozási stratégia elfogadását, első alkalommal a 2008–2025 időszakra, figyelemmel a nemzetközi kötelezettségvállalásokra. A stratégiát a Kormány az elfogadásától számított 5 éven belül köteles felülvizsgálni. Az első Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia elfogadása 2008-ban történt, a második stratégiát 2018-ban fogadták el a 2018–2030-ig tartó időszakra, 2050-ig tartó kitekintéssel.<sup>17</sup>

Az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodás kereteit az úgynevezett Nemzeti Alkalmazkodási Stratégia, vagyis a második Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia egyik kötelező eleme tartalmazza, amely stratégia részletesen elemzi az éghajlatváltozás hatásait és a várható következményeket, kiemelt célja a természeti, humán, gazdasági erőforrások jövő nemzedékek részére történő megóvása, illetve a változó külső feltételekhez való alkalmazkodás kialakítása. Ezen stratégiák végrehajtását a három évre szóló úgynevezett Éghajlatváltozási Cselekvési Terv<sup>18</sup> szolgálja.

A vizsgált témához kapcsolódóan kiemelten kezelendő az Európai Unió (a továbbiakban: EU) energetikai szabályozási környezete. Az EU jogelődje, az 1951-ben hat európai ország által alapított Európai Szén- és Acélközösség tagjai, vagyis Franciaország, a Német Szövetségi Köztársaság, Olaszország, Belgium, Luxemburg és Hollandia 1955 júniusában elfogadta a messinai határozatot. Ezt a dokumentumot tekinthetjük az első európai szintű energiapolitikai határozatnak. A tagok felismerték, hogy az importforrások, az energiatranszit-útvonalak és az energiatermelési technológiák terén elengedhetetlen a diverzifikáció. Másik fontos felismerés az európai források alkalmazásának fontossága. Ekkor indult el az északi-tengeri olaj- és gáztermelés felfutása, a palagáz jelenlétének európai szintű kutatása és feltárása, valamint a békés célú atomenergetika megjelenése az országok energiamixében.

<sup>17</sup> 23/2018. (X. 31.) OGY határozat.

<sup>18</sup> A Kormány 2020. január 9-én elfogadta az I. Éghajlatváltozási Cselekvési Tervet és mellékleteit.



3. ábra: A négy legfontosabb uniós szintű célkitűzés 2030-ra

Forrás: Milyen mértékű az uniós tagállamok energiainport-függősége? [é. n.]

Fontos EU-szintű szabályozó az EP 2012/27/EU irányelve az energiahatékonságról, amely „közös keretrendszert hoz létre az energiahatékonságnak az Unió egészében történő előmozdítására annak érdekében, hogy az Unió 2020-ig elérendő 20%-os kiemelt energiahatékonsági célkitűzései és 2030-ig elérendő legalább 32,5%-os kiemelt energiahatékonsági célkitűzései teljesüljenek”<sup>19</sup> (3. ábra). Ennek célja ténylegesen biztosítani, hogy az uniós szakpolitikák összhangban legyenek a Tanács és az Európai Parlament által elfogadott éghajlat-politikai célokkal, és a meghatározott időpontokig azok teljesítése megvalósulhasson.

2015-ben született meg az úgynevezett párizsi megállapodás,<sup>20</sup> amely a 2012-ben lejárt, de 2020-ig meghosszabbított kiotói jegyzőkönyvet volt hivatott felváltani. Az egyezmény célja 2050-re elérni a nettó zéró kibocsátási szintet, figyelemmel arra, hogy a globális átlaghőmérséklet emelkedését 2 °C alatt lehessen tartani, de nem haladja meg lehetőségek szerint a 1,5 °C-os emelkedést. A párizsi megállapodás 2016. november 4. óta van hatályban, és az EU összes tagállama aláírta.<sup>21</sup> Megjegyzem, hogy Daniel Yergin tanulmányában leszögezi, hogy bár a párizsi megállapodás kijelöli a célt a 2050-re megvalósuló nettó zéró kibocsátásra vonatkozóan, azonban kérdéses, hogy pontosan milyen végrehajtási lépcsőkön keresztül lehet ezt a célt elérni.<sup>22</sup>

<sup>19</sup> Az Európai Parlament és a Tanács 2012/27/EU irányelve (2012. október 25.) 1. fejezet 1. cikk.

<sup>20</sup> Európai Tanács 2015.

<sup>21</sup> DÉNES et al. 2024a.

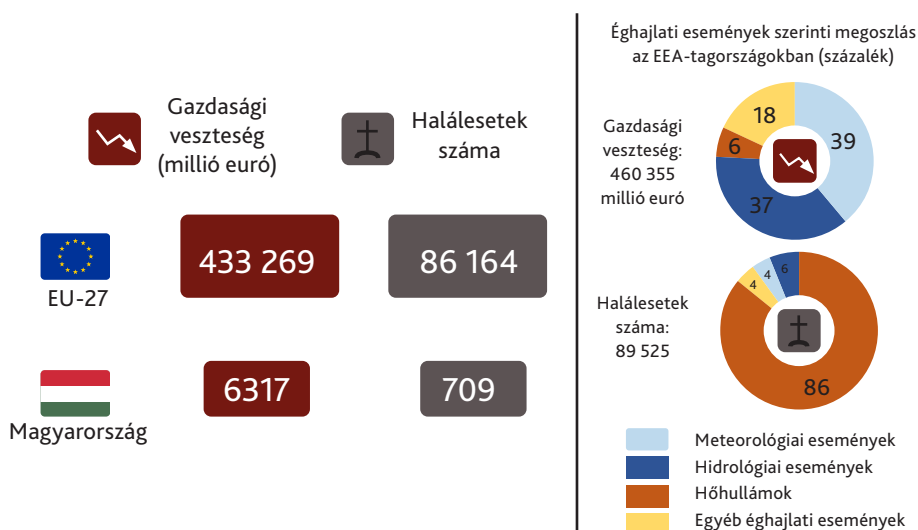
<sup>22</sup> YERGIN 2006.

Itt vetem fel az első kérdést: létezik-e reális, végrehajtható forgatókönyv a célok teljesítésére?

2019-ben az EU előterjesztette az úgynevezett európai zöldmegállapodást.<sup>23</sup> A tagállamok 2021-ben elfogadták az európai klímátörvényt, amely tartalmazza a 2050-re elérendő teljes klímasemlegességet. Fontos közös célt is meghatároztak: 2030-ra az EU összes kibocsátását legalább 55%-kal kell csökkenteni az 1990-es kibocsátási szinthez képest.<sup>24</sup> Ehhez kapcsolódik két energiahatékonysági irányelv is, amely meghatározza, hogy 2023-ra az energiafelhasználás mértékét 32,5%-kal kell csökkenteni a 2007-es prognosztizált adatokkal szemben, illetve 2021–2030 között évente 0,8%-os energiamegtakarítást kell elérni a végső felhasználás vonatkozásában. A zöldmegállapodásnak része az úgynevezett biodiverzitási stratégia, amely 2030-ig tartalmaz „átfogó, ambiciózus és hosszú távú terveket a természet védelmére és az ökoszisztémák leromlásának visszafordítására”.<sup>25</sup>

Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség 2022-es jelentése elemezte az összes bekövetkezett éghajlati esemény veszteségét, gazdasági és emberéletben mérhető, számítható kárát. A jelentés kimutatta, hogy az események 3%-a felel a bekövetkező károk 60%-áért.<sup>26</sup>

A 4. ábrán látható adatok és a kapcsolódó jelentés megállapítja, hogy a bekövetkezett teljes veszteség közel 70%-át hidrológiai és meteorológiai események, míg a fennmaradó 30%-át az éghajlati események okozták az 1980–2020 között eltelt 40 év alatt.



4. ábra: Az éghajlattal összefüggő szélsőséges események okozta veszteségek (1980–2020)

Forrás: Országgyűlés Hivatala Közgyűjteményi és Közművelődési Igazgatóság Képviselői Információs Szolgálat 2022: 4.

<sup>23</sup> European Green Deal. Az európai zöldmegállapodás.

<sup>24</sup> DÉNES et al. 2024b: 119.

<sup>25</sup> EU biodiverzitási stratégia 2030-ig.

<sup>26</sup> European Environmental Agency 2022: 10.

Az EU négy legfontosabb célkitűzése 2030-ra az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése, több összeköttetés a villamosenergia-hálózatok között, az energiahatékonyság javítása, illetve a megújuló energia arányának növelése. Magyarország esetében az EU-tagságból következik, hogy a hazai szabályozásnak igazodnia kell, illetve stratégiai szinten egyeznie kell az EU által kiadott, tagországokra vonatkozó keretjellegű energetikai szabályozásokkal.

Nemzetközi viszonylatban kiemelt az Európai Unióval való, a közös energiapolitika kialakításában, az energiakrízis-helyzet szolidaritási elvre épülő kezelésében való tevékeny részvétel, valamint a bi-/multilaterális együttműködések fenntartása, elmélyítése. Ezt támasztja alá Zsolt Melinda, aki az EU-s energiapolitika tárgykörében jegyzett doktori értekezésében megállapítja, hogy „az energiabiztonság az EU-ban a prioritások közé került, és nem önmagában az importfüggőség vívta ki a figyelmet, hanem az ellátási zavarok lehetőségének gyakorlati megjelenése”.<sup>27</sup>

Az EU Tanács 2023 áprilisában elfogadta azokat a jogszabályokat, amelyek lehetővé teszik majd az EU számára, hogy csökkentse az üvegházhatásúgáz-kibocsátást a főbb gazdasági ágazatokban. Ezek az „Irány az 55%!”<sup>28</sup> intézkedéscsomag részét képezik, amely az uniós jogszabályok felülvizsgálatát és aktualizálását, valamint új kezdeményezések bevezetését célzó javaslatokat tartalmaz. A program ösztönzi a megújuló energiák fejlesztését, az innováció támogatását és a zöldtechnológiák elterjedését, emellett ösztönzi a tagállamokat az energiahatékony technológiák és infrastruktúrák kiépítésére.

Összegezve Magyarország vállalta, hogy elfogadja a nemzeti éghajlatváltozási stratégiát a 2007-es kerettörvény alapján, valamint végrehajtja az EU energiahatékonysági irányelveit, amelyek 2020-ra 20%-os, 2030-ra pedig 32,5%-os célokat tűznek ki. A párizsi megállapodás szerint 2050-re nettó zéró kibocsátást kell elérni, és a 2021-es EU-s klímátörvény szerint 2030-ra az EU kibocsátását 55%-kal kell csökkenteni, az energiafelhasználást pedig 32,5%-kal a 2007-es adatokhoz képest.

A globális szabályozások meghatározzák azokat a főbb irányokat, sarokpontokat, amelyekhez a hazai szabályozást igazítani kell. Áttekintve a hatályos szabályozásokat, dokumentumokat, a Magyarország energetikai rendszerét szabályozókat két csoportra bonthatjuk.

Az első csoportba sorolhatók az ágazati szintű szabályozók, vagyis a 2015. évi LVII. törvény az energiahatékonyságról, a 2020. évi XLIV. törvény a klímavédelemről, a Nemzeti Energiastratégiairól szóló 77/2011. (X.14) OGY határozat, a Nemzeti Energia- és Klímaterv, a Nemzeti Tiszta Fejlődési Stratégia, a Nemzeti Épületenergetikai Stratégia és a második Nemzeti Éghajlatváltozási Terv.

A második csoportba tartoznak a nemzeti szintű védelmi stratégiát meghatározó dokumentumok, vagyis Magyarország Alaptörvénye, a Magyar Köztársaság biztonság- és védelempolitikai alapelveiről szóló 94/1998. (XII. 29.) OGY határozat, a Magyarország Nemzeti Biztonsági Stratégiájáról szóló 1163/2020. (IV. 21.) Korm. határozat, valamint új elemként kívánom említeni a kritikus szervezetek ellenálló képességéről szóló 2024. évi LXXXIV. törvényt.

<sup>27</sup> ZSOLT 2023: 174.

<sup>28</sup> Időrendi áttekintés – Az európai zöld megállapodás és az „Irány az 55%!” intézkedéscsomag [é. n.].

## A magyarországi energetikai ágazati szabályozók áttekintése

Az energiahatékonyságról szóló 2015. évi LVII. törvény feladata a nemzeti energiahatékonysági célok és a kapcsolódó feladatok meghatározása a végrehajtás feltételeinek biztosításának peremfeltételével. A törvény a 2. §-ban kimondja, hogy indikatív energiahatékonysági célkitűzésként kell meghatározni a 2020-ra és 2030-ra elérendő primerenergia-felhasználást és végsőenergia-fogyasztást. A 2030-ra elérendő indikatív energiahatékonysági cél meghatározása során figyelembe kell venni, hogy az Európai Unió 2030. évi energiafogyasztása nem haladhatja meg (a szerző megjegyzése: millió tonna olaj egyenértékben) az 1128 MTOE primer energiát és a 846 MTOE végső energiát.

Magyarország a klímavédelemről szóló 2020. évi XLIV törvényben rögzíti a 2050-ig elérendő klímasemlegességet<sup>29</sup> mint stratégiai célt, illetve hogy 2030-ra 40 százalékkal csökkenti a kibocsátást az 1990-es kibocsátási szinthez képest. A stratégiai cél elérése a társadalmi, gazdasági és technológiai változtatás komplex rendszerében történő taktikai végrehajtást igényel a nemzetgazdaság minden szektorára.

A jogszabály meghatározza a forrásoldal biztosítását is a céloknak, amennyiben a Kormány feladatuként jelöli meg az úgynevezett Zöld Államkötvény kibocsátását mint a költségvetésből finanszírozott fejlesztések forrását. A 2020. évben a Kormány elfogadta az Országos Levegőterhelés-csökkentési Programot, amellyel az egyes légköri szennyező anyagok nemzeti kibocsátásainak csökkentéséről szóló EU 2016/2284 irányelv szerinti kötelezettségének tett eleget Magyarország.<sup>30</sup>

A Nemzeti Energiastratégiában (a továbbiakban: NES) a következőket olvashatjuk:

„A jövő energiapolitikáját részben a legfontosabb hazai és globális kihívásokra adandó válaszok, részben pedig az uniós energiapolitikai törekvések mentén, geopolitikai sajátosságainkat figyelembe véve kell kialakítani. Ennek fókuszában olyan racionalizált energiakereslet elérése és energetikai kínálat (infrastruktúra és szolgáltatás) kialakítása áll, amely egyszerre szolgálja a hazai gazdaság növekedését, biztosítja a szolgáltatások elérhetőségét és a fogyasztók széles köre által megfizethető árakat.”<sup>31</sup>

<sup>29</sup> 2020. évi XLIV törvény: „3. § (1) Magyarország az üvegházhatású gázok kibocsátását legalább 40%-kal csökkenti 2030-ig az 1990. évhöz képest. (2) Magyarország 2030-at követően a végső energiafelhasználás 2005. évi szintet meghaladó növekedése esetén a növekményt kizárólag karbonsemleges energiaforrásból biztosítja. (3) Magyarország a bruttó végső energiafogyasztásban legalább 21%-os megújuló energiaforrás részarányt ér el a 2030. évig. (4) Magyarország a 2050. évre eléri a teljes klímasemlegességet, azaz az üvegházhatású gázok még fennmaradó hazai kibocsátása, valamint elnyelése a 2050. évre egyensúlyba kerül.”

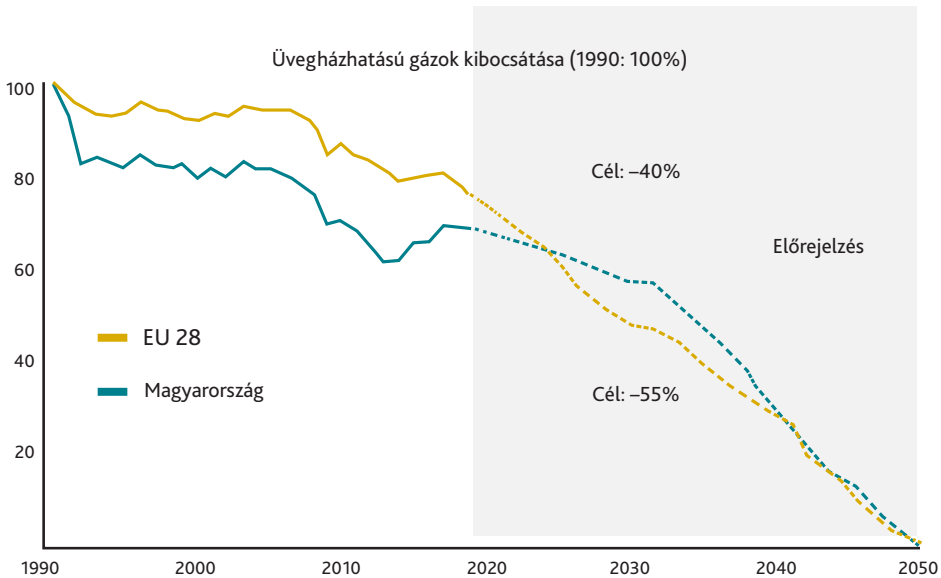
<sup>30</sup> Az Országos Levegőterhelés-csökkentési Program 2030-ig az alábbi célkitűzéseket határozza meg:

- a kisméretűrészcseke-emisszió 55%-kal,
- az ammóniakibocsátás 32%-kal,
- a kén-dioxid-kibocsátás 73%-kal,
- a nem metán illékony szerves anyagok kibocsátása 58%-kal,
- a nitrogén-oxidok kibocsátása 66%-kal csökkenjen az országban a 2005-ös szinthez képest.

<sup>31</sup> NES 13.

A 2020-ban elfogadott NES három kiemelt célt rögzít jövőbeni energiastratégiánkra vonatkozóan:

- 2030-ra a villamosenergia-termelés 90%-ának karbonmentesnek kell lennie;
- a teljes gázfogyasztást a jelenlegi ~10 milliárd m<sup>3</sup>-ről 8,7 milliárd m<sup>3</sup>-re kell csökkenteni (~15%-os csökkentés elvárása); illetve
- 2040-re a 2020-as szintet 6,3 milliárd m<sup>3</sup>-re kell csökkenteni (~60%-os csökkentés elvárása).



5. ábra: Az üvegházhatásúgáz-kibocsátás csökkentési trendje

Forrás: MVM 2021: 46.

Ennek elérése felgyorsulhat, ugyanis a jelenlegi 80%-os gázkitettségi szint mind a klímacélok, mind az orosz-ukrán háború függvényében egyre inkább biztonságpolitikai kérdéseket is felvet.

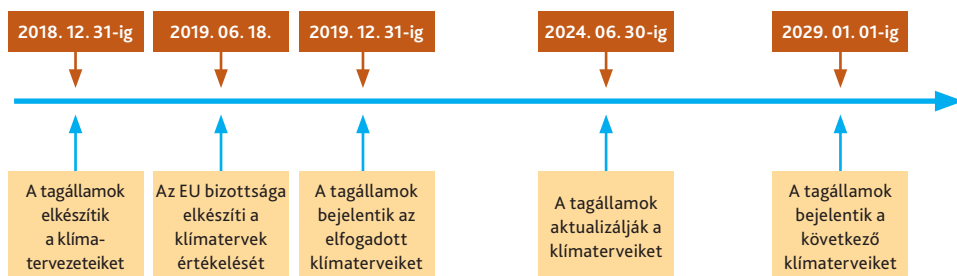
Az úgynevezett Nemzeti Energia- és Klímaterv (a továbbiakban: Klímaterv) célja biztosítani azt, hogy az EU közösségi szinten tudja teljesíteni a vállalt tiszta energiához és az éghajlatváltozáshoz kapcsolódó politikák érvényre juttatását tagállami szinten. A Klímaterv 10 éves időszakot fog át, a kidolgozás ütemezése az alábbiak szerint történik:

A hazai Klímatervben 2030-ra meghatározott célok igazodnak az EU közös energia- és klímavédelmi céljaihoz, amelyek a következők:

- Az 1990-es kibocsátási szinthez képest a kibocsátás-csökkentés érje el az 50%-ot.<sup>32</sup>
- A megújuló energia részarányának 21%-ra történő emelése a bruttó végsőenergia-felhasználáson belül.

<sup>32</sup> Energiaügyi Minisztérium [é. n.].

- A végső villamosenergia-termelésből vezessék ki a barnaszén és a lignit felhasználását.
- A végsőenergia-felhasználás éves szinten maximálisan 785 petajoule legyen, és a végső cél a teljes felhasználás vonatkozásában karbonsemleges legyen.



6. ábra: A klímatervkészítés fázisai

Forrás: a szerző szerkesztése

Az energiabiztonság szempontjából áttekintve, a Klímaterv meghatároz bizonyos úgynevezett importfüggőségi korlátokat/plafonokat mind a kőolajra, mind a földgázra, illetve a villamos energiára vonatkozóan. Ezek mértékét a kőolaj esetében 70, a földgázban 85, míg a villamos energia vonatkozásában 20%-ban limitálja.

A 23/2018. (X. 31.) OGY határozattal a Parlament által elfogadott, a 2018–2030 közötti időszakra vonatkozó, 2050-ig tartó időszakra is kitekintést nyújtó második Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia legfőbb pontjai és vállalásai:

- a bruttó üvegházhatásúgáz-kibocsátás csökkentésének az 1990-es kibocsátáshoz képest 2050-ig 52–85% közötti értéket kell elérnie;
- a stratégián belül megfogalmazták a Hazai Dekarbonizációs Útiterv mellett a Nemzeti Alkalmazkodási Stratégiát, illetve a Partnerség az Éghajlatért Szemléletformálási Tervet.

Az Egyensúly Intézet *Hogyan újítsuk meg 2030-ra Magyarország energiarendszerét?* tanulmányában „drasztikusnak hangzó” intézkedéseket javasol, amelyek alapján: „Gyorsabb tempót kell diktálnunk magunknak a dekarbonizáció üteme, a megújuló arányának növelése és az energiahatékonyság ösztönzése terén.”<sup>33</sup> A tanulmány javasolja a kibocsátási célt 2023-ra 55–60%-ra emelni. A gázfogyasztás csökkentésére négy javaslatot tartalmaz: 2034-ig kivezetni a háztartási gázt, 2025-től új épületekhez nem engedni gázbekötést, 2030-ig 200 ezer háztartást leválasztani a gáztól, és 2026-ra kivezetni a gáz átalánydíjas sütési-főzési célú használatát. Folytatni kell a Paks II beruházást, emelni a megújuló részarányát 30%-ra és növelni a nap- és szél erőmű-kapacitást.

<sup>33</sup> Egyensúly Intézet 2023: 6.

## Magyarország energiapolitikai irányítása

A hatályos szabályozók elkészítésének, illetve elfogadásának felelőssége megoszlik az Országgyűlés, a Kormány és az ágazati szabályozásokért felelős minisztériumok között. A Kormány tagjainak feladat- és hatásköréről szóló 182/2022. (V. 24) Korm. rendelet (a továbbiakban: 182-es rendelet) és a Kormány ügyrendjéről szóló 1352/2022. (VII. 21.) Korm. határozat (a továbbiakban: 1352-es határozat) alapján az energiával, az energiabiztonsággal összefüggő feladatok megoszlása a következők szerint alakul.

A külügyi és külgazdasági miniszter felelős az EU és az Európai Atomenergia Közösség közötti együttműködés és a hazai koordináció irányításáért, valamint az ipari és innovációs parkok energetikai fejlesztéseivel kapcsolatos feladatokért. Ő képviseli Magyarországot az európai uniós és nemzetközi energetikai miniszteri szintű tárgyalásokon, és felelős az energiaforrások külföldről történő beszerzéséért is. Ezenkívül ő irányítja a nukleáris energia békés célú felhasználásával kapcsolatos együttműködést Magyarország és Oroszország között (Paks II), valamint az atomenergia-ipar innovációs feladatait.<sup>34</sup>

Az energiaügyi miniszter felelős az energiapolitikáért, beleértve a villamosenergia-, földgáz-, távhőszolgáltatásokat, a központi fűtést és a melegvízellátást, valamint a kőolaj készletezését és az atomenergia békés célú alkalmazását. Feladatai közé tartozik a megújuló energiaforrások használatának elősegítése, az energiahatékonyság növelése és a klímapolitikai jogszabályok kidolgozása. Gondoskodik a fenntartható gazdasági fejlődés, energiahatékonyság és energiatakarékossági programok megvalósításáról. Vezeti a központi kormányzati épületek felújítását, koordinálja az energetikai infrastruktúra-beruházásokat és felügyeli az EU-kvóta kibocsátáskereskedelmi magyarországi rendszerét. A környezetvédelem érdekében ösztönzi a környezetkímélő technológiák bevezetését és fejlesztését, valamint irányítja az épületek energetikai jellemzőit és tanúsítói feladatait.<sup>35</sup>

A nemzetgazdasági miniszter felel az elektromobilitás hazai elterjedését segítő döntések kidolgozásáért (együttműködve az energiaügyi miniszterrel).<sup>36</sup>

A Kormány különös hatáskörű politikai döntéshozó fórumai közül a Gazdasági Kabinet tárgyalja a Kormány energiaügyi, energiapolitikai kérdéseit, amelynek a 182-es rendeletben feladat- és hatáskörrel rendelkező miniszterek a tagjai.<sup>37</sup> Dedikált szereplőként tekinthetjük a Magyar Energetikai és Közműszabályozási Hivatalt,<sup>38</sup> amely önálló, független hatóságként felelős a villamosenergia- és földgázpiaci társaságok engedélyezéséért, az Energiahatékonysági Kötelezettségi Rendszer irányításáért, az ár- és díjelőkészítői feladatok ellátásáért és a nemzeti energiastatisztikai rendszer működtetéséért.

<sup>34</sup> A 182-es rendelet 141–143. §-ai alapján.

<sup>35</sup> A 182-es rendelet 160 §, 164 §, 165 § és a 176 § alapján.

<sup>36</sup> A 182-es rendelet 111/C. § (2) c alpont alapján.

<sup>37</sup> Az 1352-es határozat 101. pontja alapján.

<sup>38</sup> A Hivatal a földgázellátásról szóló 2008. évi XL. törvény, a földgáz biztonsági készletezéséről szóló 2006. évi XXVI. törvény, a villamos energiáról szóló 2007. évi LXXXVI. törvény, a távhőszolgáltatásról szóló 2005. évi XVIII. törvény, a víziközmű-szolgáltatásról szóló 2011. évi CCIX. törvény, valamint a hulladékról szóló 2012. évi CLXXV. törvény és az e törvények felhatalmazása alapján kiadott egyéb jogszabályok hatálya alá tartozó szervezetek, személyek ezen jogszabályok szerinti tevékenységének felügyeletét látja el.

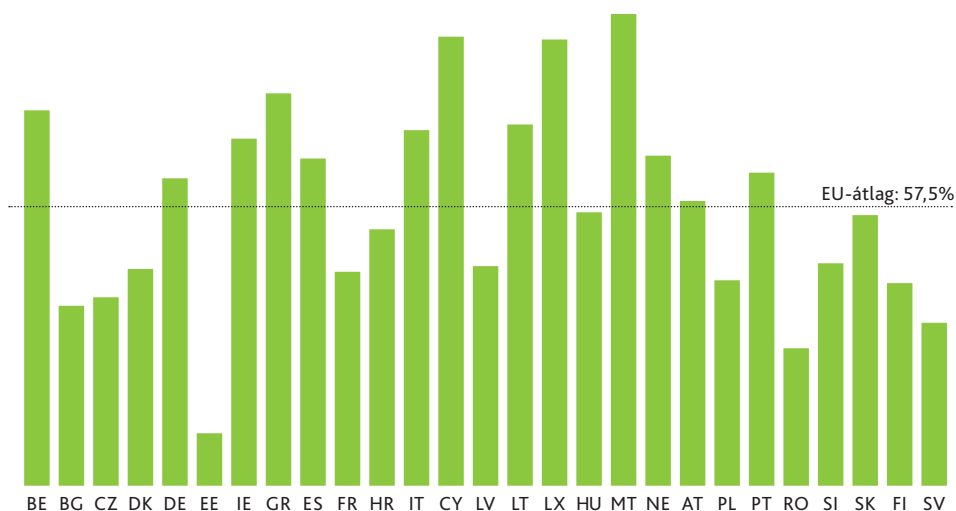
## A védelmi célú stratégiai dokumentumok főbb energetikai szempontú szabályozásai

A Magyar Köztársaság biztonság- és védelempolitikai alapelveiről szóló 94/1998. (XII. 29.) OGY határozat 10. pontja kimondja, hogy a Magyar Köztársaság biztonságpolitikai céljait elsősorban a külpolitika, a gazdaságpolitika és a védelempolitika útján érvényesíti. A három terület együttese képes a biztonságpolitikai célokat, ezen belül az energiabiztonságot szavatolni.

A hatékony külpolitikára épülő külgazdasági politika teszi lehetővé az energiaimportot mint lehetőséget biztosítani. Mivel Magyarország önállóan nem képes szavatolni az energiabiztonságát, ezért kiemelt fontosságú a szomszédos országokkal együttműködni például az energia-infrastruktúrák összekapcsolása területén.

Az EU-val való együttműködés kihat Magyarország energiaimport-mértékére. Kérdésként vetődhet fel, hogy milyen mértékű az EU-tagállamok energiaimport-függősége. Az EU nettó energiaimportőri szerepet tölt be a világ gazdaságban. A tagállamok energiaimport-függősége erősen ingadozik, Észtorszáé 10,5%, Máltáé 97%. Magyarország energiafüggősége 56,5%, az unió egészének energiafüggőségi rátája 2020-ban 57,5% volt (lásd 7. ábra). Az előzőkből is következik annak megértése, hogy mennyire fontos a regionális együttműködések fenntartása a hatékony érdekérvényesítés megvalósításában az energiaexportáló országok felé.

Az OGY határozatban jelzett gazdaságpolitikai döntések kihatnak a gazdasági és társadalmi folyamatokra, beleértve a nemzetgazdaság szereplői energiához való hozzáféréseinek biztonságát, a lakossági hőenergia-ellátás korszerűsítésének igényét, az energiahatékony technológiák és infrastruktúrák kialakítását és ösztönzését, az erőművek építésének és korszerűsítésének szükségességét, a megújuló és alacsony szén-dioxid-kibocsátású energiatermelés növelését, a közlekedés energiahatékonyságának növelését, valamint az energetikai célú hulladékhasznosítást és a megújuló ipari és mezőgazdasági termelés előnyeinek kiaknázását.



7. ábra: Az EU-tagállamok energiafüggősége (2020)

Forrás: Milyen mértékű az uniós tagállamok energiaimport-függősége? [é. n.]

## A Nemzeti Biztonsági Stratégia és a Nemzeti Katonai Stratégia energetikai összefüggései

A Nemzeti Biztonsági Stratégia (a továbbiakban: NBS) a biztonság- és védelempolitika alapelveinek megfelelően kiadott nyilvános tervezési dokumentum. Hosszú távra fogalmaz meg biztonsági helyzetre vonatkozó értékelést, védendő értékeket, kihívásokat és fenyegetéseket, és ami a stratégia sajátossága, hogy foglalkozik a főbb fejlesztési irányokkal, és meghatároz bizonyos fejlesztési irányokat.

A NBS kiemelten foglalkozik Magyarország energetikai importfüggésével, a kritikus infrastruktúrák sebezhetőségének problematikájával – az energiaszektor vonatkozásában –, illetve az ország védelme szempontjából kiemelt úgynevezett önellátás növelésével, a hazai energiatermelés lehetőségének és fontosságának hangsúlyozásával. Elemezve az NBS dokumentumban az energia-biztonságra vonatkozó megállapításokat, az 1. táblázatban látható SWOT-analízist állíthatjuk fel.

1. táblázat: Az NBS energetikai szempontú SWOT-analízise

| Erősség                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Gyengeség                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>– Tudatos célként szerepel az energiaszuverenitás, az energiabiztonság megerősítése, az energiatermelés decarbonizációja atomenergia alkalmazásával gondolat;</li> <li>– Energetikai ellenálló képesség növelésének fontos eleme az energiainport-csökkentés és az import-versenyben való közreműködő részvétel gondolatának felismerése;</li> <li>– Stratégiai készletként azonosítja a hazai lignit-, barna- és feketeszén-készleteket.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>– A közép- és hosszú távon szükségessé váló energetikai infrastruktúra felújításának forrásszüksége;</li> <li>– A magyar innovativitás, valamint a gazdaság exportorientált, tartós növekedése kihat az európai gazdasági rendszer és a globális értékláncok fejlődésére a globális konjunktúra megőrzése érdekében, ugyanakkor a gazdaság importkitettsége ez ellen hathat.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Lehetőség                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Veszély                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>– Integrált európai és regionális belső energiapiac kiépítésében való tevékeny részvétel;</li> <li>– A nemzeti biztonság előfeltétele egy kölcsönös együttműködésben érdekelt globális közösség. Magyarország célja a fenntartható, globális fejlődéshez történő hozzájárulás;</li> <li>– Ki kell aknázni a földgáz új beszerzési és tranzit-lehetőségeit;</li> <li>– Fokozni kell az energiafelhasználás hatékonyságát és a hazai megújuló energiák alkalmazását;</li> <li>– A villamosenergia-szektor decarbonizálásában kulcsszerepet tölt be Paks 2 megépítése, üzembe állása;</li> <li>– A természeti katasztrófák megelőzésének egyik kritikus feltétele az éghajlatváltozás hatásainak mérséklése, a gazdaság fosszilis energiahordozó-igényének csökkentése érdekében a környezettudatos és karbonszegény életmód népszerűsítése;</li> <li>– Észak–déli irányú energiai infrastruktúra és a határkeresztező gázvezetékek (interkonnektorok) kiépítése.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Földgázellátás tekintetében meglévő importfüggőség;</li> <li>– Változni fog a jövőben a villamosenergia- és földgázfelhasználás módja, és eltolódás lesz a villamos energia irányába;</li> <li>– Tengeri kijárat hiányában a jelenlegi ellátási útvonalak és infrastruktúraelemek kiszolgáltatottá teszik hazánkat;</li> <li>– A megnövekedett források és a kapcsolódó szállító kapacitások korlátozott rendelkezésre állásából eredő kockázat;</li> <li>– Jelentős hatásként azonosítja az energiainportban bekövetkezett fennakadásból fakadó ellátási válsághelyzet létrejöttét;</li> <li>– Energetikai rendszer mint kritikusinfrastruktúra-elem.</li> </ul> |

Forrás: a szerző szerkesztése

Megjelenik az NBS-ben – ellátásbiztonsági olvasatban – az élelmiszer- és vízkészlet-biztosítással kapcsolatos ellenálló képesség<sup>39</sup> is. Megjegyzem, hogy a NATO a tagállamok összehangolt védelmi és képességbiztosítási tevékenysége érdekében elfogadta az ellenálló képesség 7 alapkövetelményét,<sup>40</sup> amely kiemelten említi a folyamatos közüzemi szolgáltatások és energiaellátás fenntartását. Idekapcsolódik, hogy a védelmi és biztonsági tevékenység összehangolásáról szóló 2021. évi XCIII. törvényben (a továbbiakban: Vbő. törvény) megjelenik az ellenállás fokozása, valamint az erőforrások és szolgáltatások visszapótlásának lehetősége, legyenek azok katonai, védelmi képességek biztosításához szükséges hadiipari vagy egyéb termékek vagy energiahordozók.

A Nemzeti Katonai Stratégia (a továbbiakban: NKS) nagy hangsúlyt fektet az úgynevezett kinetikus és nem kinetikus támadásokra, a hibrid fenyegetésekre, a védelmi felkészülés fontosságára, illetve a polgári felkészülés rendszeréből is következően a kritikus fontosságú képességek működőképességnek fenntartására, fokozására.<sup>41</sup> Az NKS éghajlatváltozási és energetikai vonatkozásban több súlyos kockázatot azonosított. Megállapítja, hogy egyre súlyosabb problémát jelent az energiabiztonság kérdése. Növekszik az importfüggő fogyasztók száma és a szállítási útvonalak sebezhetősége. Régióinkra különösen is jellemző az energiaforrások beszerzésének nem megfelelő diverzifikáltsága.

A globális éghajlat- és környezetváltozás, a környezetszennyezés, a szélsőségesebbé váló időjárás hatásai, a nyersanyag- és természeti erőforrások kimerülése, az egészséges ivóvízhez jutás és a világban egyre súlyosabb formában jelentkező élelmezési gondok várhatóan a konfliktusok fő forrásai, illetve erősítő tényezői lesznek.

## A nemzeti ellenálló képesség rendszerének értelmezése az energetikai szektorra

A védelempolitikai célokkal összefüggésben – bár jelen tanulmány tárgyát nem képezi – érdemes pár gondolatot, megállapítást tenni a jelenleg hatályos Vbő. törvénnyel kapcsolatban. Kádár Pál<sup>42</sup> a Vbő. törvény tárgyában írt cikkében említést tesz az energetikai ellátási válsághelyzetekről,<sup>43</sup> vagyis a kőolaj- és kőolajtermék-ellátási, a földgázellátási, a villamosenergia-ellátási válsághelyzet fontosságáról, de idesorolhatjuk a nukleáris válsághelyzetet is. A Vbő. törvény szabályozásában jelenik meg először a magyar jogszabályok közül komplex módon az úgynevezett nemzeti ellenálló képesség értelmezése.

<sup>39</sup> 1163/2020. (IV. 21.) Korm. határozat 1. melléklet 171. pont.

<sup>40</sup> Commitment to Enhance Resilience (2016). A 7 alapkövetelmény: 1. a kormányzat folyamatos működőképességének fenntartása; 2. a folyamatos közüzemi szolgáltatások és energiaellátás fenntartása; 3. a lakosság koordinálatlan tömeges mozgásának kezelése; 4. az alapvető élelmiszerekkel és ivóvízzel való ellátás folyamatos biztosítása; 5. a tömeges sérülések ellátása; 6. a nemzeti média és elektronikus hírközlés, az informatikai hálózat folyamatos szolgáltatásának fenntartása, 7. a közlekedési és szállítási infrastruktúra folyamatos üzemeltetésének biztosítása.

<sup>41</sup> KÁDÁR 2023: 177.

<sup>42</sup> KÁDÁR 2022: 11.

<sup>43</sup> Az energetikai válsághelyzeti szabályozások jogszabályi alapjai: 2013. évi XXIII. törvény a behozott kőolaj és kőolajtermékek biztonsági készletezéséről, 2008. évi XL. törvény a földgázellátásról, 2007. évi LXXXVI. törvény a villamos energiáról, 1996. évi CXVI. törvény az atomenergiáról.

A nemzeti ellenálló képesség rendszerét áttekintve a Vb. törvény 42. § (2) bekezdésének b) és d) pontja kimondja, hogy kiemelt feladatellátási terület „a rugalmas és a kihívásokhoz alkalmazkodó energetikai rendszer és energiabiztonsági megoldások kialakítása”, illetve „a rugalmas és a kihívásokhoz alkalmazkodó, az alapvető élet- és egészségügyi feltételek fenntartását szolgáló rendszerek kialakítása, a társadalom alapvető szükségletei ellátásában nélkülözhetetlen létfontosságú rendszerek üzemfolytonos működésének biztosítása”. Ezzel kapcsolatban rögzítendő az is, hogy a Vb. törvény rendelkezik a nemzetgazdaság védelmi és biztonsági célú tartalékainak felsorolásáról. A 27. § (1) bekezdésének g) pontja taxatív rögzíti az energetikai eszközöket és készleteket és az elektronikus hírközlő hálózati kapacitásokat.

Mivel a Vb. törvényben meghatározott szabályrendszer előírja a szervezetek, infrastruktúrák védelmi szintjének fenntartását, az Országgyűlés 2024. december 17-i ülésén elfogadta a kritikus szervezetek ellenálló képességéről szóló 2024. évi LXXXIV. törvényt. Az általános indoklásban a törvény céljával kapcsolatban az alábbiakat olvashatjuk:

„A törvény célja az élet és az anyagi javak védelme az állampolgárok jólétének és az alapvető szolgáltatások folyamatosságának biztosítása érdekében, a nemzeti ellenálló képességi rendszer fejlesztésére – különösen a kormányzat folytonossága, az energetika, a tömegmozgások, az élelmezés és vízellátás, a tömeges sérültellátás, a polgári kommunikációs rendszerek, valamint a közlekedés, és szállítás területére vonatkozó alapkövetelmények teljesítésére – figyelemmel, az állam, a társadalom és a gazdaság ellenálló képességének növelésére.”<sup>44</sup>

A törvény 1. melléklete nevesíti az ágazatok, alágazatok és alapvető szolgáltatások listáját az energiaágazatra vonatkozóan a 2. táblázat szerint.

Ezzel a jogszabállyal Magyarország eleget tesz a kritikus szervezetek rezilienciájáról és a 2008/114/EK tanácsi irányelv hatályon kívül helyezéséről szóló, 2022. december 14-i (EU) 2022/2557 európai parlamenti és tanácsi irányelvnek (a továbbiakban: CER irányelv).

## Az *Ex Ante* jelentés és az energetikai szektor kapcsolata

Energiabiztonsági célokkal összefüggésben az energiaellátási zavarokra figyelmeztet az úgynevezett *Ex Ante* jelentés, vagyis Magyarországnak az uniós polgári védelmi mechanizmusról szóló 1313/2013/EU határozat módosításáról szóló, a 420/2019/EU (2019. március 13.) európai parlamenti és tanácsi határozat alapján készülő nemzeti katasztrófakockázat-értékeléséről szóló jelentése.<sup>45</sup>

A jelentésben az energiaágazatra a mindennapi életben megjelenő zavarokat, a tüzelőanyag-, üzemanyag- és villamosenergiaellátási-zavart mint kritériumot azonosították kockázatként. Az *Ex Ante* jelentés 22. oldalán leírtak az alapvető szolgáltatások akadályozása vagy hiánya (zavarok a mindennapi életben) résznél azonosítja a villamosenergia-infrastruktúrát mint kockázatot. Hatását az időtartam és az érintett emberek száma mutatóban jelöli meg mint kockázati hatást. Említést tesz a jelentés a 31. oldalon arról a projektről, amely

<sup>44</sup> A kritikus szervezetek ellenálló képességéről szóló 2024. évi LXXXIV. törvény indoklása: 1.

<sup>45</sup> Magyarország nemzeti katasztrófakockázat-értékeléséről szóló jelentése 2023.

„kifejezetten az energetikai infrastruktúra hálózatok időjárási szélsőségekkel, éghajlatváltozással szembeni és földtani sérülékenységet vizsgálja, az energiaellátás biztonságának magas szintű fenntartása és a katasztrófakockázatok megelőzésének, csökkentésének érdekében”.  
A határokon átnyúló ellátási zavarként azonosították, hogy a „villamosenergia-hálózatok és a földgázvezetékek Európa-szerte össze vannak kapcsolva, ezért az energiarendszer valamelyik részében üzemszünetet vagy ellátási zavart okozó kibertámadás áttételes hatásokat válthat ki a rendszer más részeiben”.<sup>46</sup>

2. táblázat: Az ágazatok, alágazatok és alapvető szolgáltatások listája

| Ssz. | Ágazat  | Alágazat           | Alapvető szolgáltatás                                                                                                              |
|------|---------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 20   | energia | villamos energia   | villamosenergia-kereskedelem                                                                                                       |
| 21   |         |                    | villamos energia elosztórendszer-üzemeltetés                                                                                       |
| 22   |         |                    | villamos energia átvitelirendszer-üzemeltetés                                                                                      |
| 23   |         |                    | villamosenergia-termelés (nukleáris létesítmény esetén kizárólag a nukleáris létesítmény villamosenergia-átvitelre szolgáló része) |
| 24   |         |                    | villamosenergiapiac-üzemeltetés                                                                                                    |
| 25   |         |                    | villamosenergia-aggregálási, -keresletoldali- vagy energiatárolási szolgáltatás                                                    |
| 26   |         |                    | black start szolgáltatás (az átviteli rendszerirányító részére a rendszer újraindításához alkalmas eszközök készenlétben tartása)  |
| 27   |         | távfűtés, távhűtés | távfűtés, távhűtés                                                                                                                 |
| 28   |         | kőolaj             | kőolajvezeték-üzemeltetés                                                                                                          |
| 29   |         |                    | kőolajtermelés és -finomítás                                                                                                       |
| 30   |         |                    | biztonsági készletezés                                                                                                             |
| 31   |         |                    | üzemanyagtöltőállomás-üzemeltetés                                                                                                  |
| 32   |         | földgáz            | földgáztermelés                                                                                                                    |
| 33   |         |                    | földgázkereskedelem                                                                                                                |
| 34   |         |                    | elosztórendszer-üzemeltetés                                                                                                        |
| 35   |         |                    | szállításirendszer-üzemeltetés, rendszerirányítás                                                                                  |
| 36   |         |                    | tárolásirendszer-üzemeltetés                                                                                                       |
| 37   |         |                    | LNG-létesítmény-rendszerüzemeltetés, célvezeték-üzemeltetés                                                                        |
| 38   |         |                    | gázelőkészítés (földgázfinomítás és -feldolgozás)                                                                                  |
| 39   |         | hidrogén           | hidrogéntermelés, -tárolás és -szállítás                                                                                           |

Forrás: a szerző szerkesztése a 2024. évi LXXXIV. törvény 1. számú melléklete alapján (kivonat a 20–39. sorokban meghatározottakról)

<sup>46</sup> Magyarország nemzeti katasztrófakockázat-értékeléséről szóló jelentése 2023: 103.

## Összefoglalás

Napjainkban a komplex biztonságot az energiaválság, a klímavédelem és az energiabiztonság, valamint a geopolitikai, a környezeti és a gazdasági változók együttesének vizsgálatával lehet biztosítani. Ilyen tényezővé vált például a fosszilis tüzelőanyagoktól való függőség, illetve az ezekhez való hozzáférés kérdése. Erre ráerősít a jelenleg is zajló orosz–ukrán háború jelentette kockázat, amely kihat Magyarország és az EU gazdasági rendszerére, gondoljunk csak a szankciós politikai kérdésekre. A háború nyomán kibontakozó energiaválság rávilágított az energiaellátási láncok sebezhetőségére, és újragondolásra kényszerítette a döntéshozókat.

Magyarországon az energiabiztonságot érintő szabályozások és a szakpolitikák szorosan kapcsolódnak az EU által meghatározott keretekhez. A Nemzeti Energia- és Klímaterv kiemelt célja az energiahatékonyság növelése, a megújuló energiaforrások arányának növelése, valamint az energiaellátás biztonságának biztosítása a lakosságellátás és a gazdaság zavartalan működtetésének biztosítása érdekében. Ezt a célt keretezi az EU 2030-as klíma- és energia-céljainak elérésére tett vállalások betartásának szükségessége.

A klímavédelem és az ellenálló képesség összefüggéseit a hatályos nemzetbiztonsági stratégiák tartalmazzák, felismerve azok fontosságát az energiaellátási zavarokkal és a környezeti változásokkal kapcsolatos kockázatok enyhítéséhez. Magyarország energiapolitikája hangsúlyozza az energiaforrások diverzifikációját, ehhez hozzárendel bizonyos politikai és gazdasági tényezőket.

A hatályos EU-s és egyéb nemzetközi szabályozások jelentette jogi keretek kitűzött célja az éghajlat-alkalmazkodás erőfeszítéseinek megerősítése a különböző ágazatok együttműködésének megteremtésével. Megjegyzem, a folyamatban lévő szabályozások alapján megvalósuló energetikai célú beruházások és az elektromobilitás érdekében zajló iparfejlesztés kritikusai szerint az azonnali energiaigényekre való összpontosítás „beárnyékolja” a hosszú távú fenntarthatósági célokat. Az ehhez kapcsolódó prioritások kiegyensúlyozása továbbra is összetett feladat a döntéshozók és a gazdaság szereplői számára.

A következő cikkben az ágazati stratégiai és az ágazati taktikai (cselekvési terv szintű) anyagok vizsgálata révén ismertetett keretrendszeren keresztül bemutatom az energiabiztonság kihívásait, a forrásoldal meglétét és számosságát, valamint a konkrét cselekvések rendszerét, illetve a következő időszakra vonatkozó, nyilvánosságra került energetikai beruházásait és azok költségigényét.

## Felhasznált irodalom

- A háztartási energiaköltségek aránya a rendelkezésre álló jövedelmek arányában (2022). *Fenntartható fejlődési célok*, 2022. október 31. Online: <https://www.ksh.hu/s/kiadvanyok/fenntarthato-fejlo-des-indikatorai-2022/1-4-sdg-7>
- BERLINGER Edina – LOVAS Anita (2015): *Fenntarthatóság és növekedés: a Stern jelentés és az irányított technológiaváltás modellje*. MTA Közgazdaság- és Regionális Tudományi Kutatóközpont Műhelytanulmányok MT-DP – 2015/1. Online: <http://www.real.mtak.hu/21163/1/MTDP1501.pdf>

- Commitment to Enhance Resilience (2016). NATO, 2016. július 8. Online: [http://www.nato.int/cps/en/natohq/official\\_texts\\_133180.htm](http://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_133180.htm)
- DÉNES Kálmán et al. (2024a): Sikeres lehet-e az Európai Unió klímapolitikája? *Hadtudomány*, 34(E-szám), 221–235. Online: <https://doi.org/10.17047/Hadtud.2024.34.E.221>
- DÉNES Kálmán et al. (2024b): A természeti erőforrásokhoz való szinte korlátlan hozzáférésben rejlő kockázatok lehetséges hatása az Európai Unió klímapolitikájára. *Katonai Logisztika*, 32(3–4), 114–128. Online: <https://doi.org/10.30583/2024-3-4-114>
- DOBOS Edina (2010): Az energiaellátás biztonságának elméleti kérdései. *Nemzet és Biztonság*, 2010. július, 36–44. Online: [https://www.nemzetesbiztonsag.hu/cikkek/dobos\\_edina-az\\_energiaellatas\\_biztonsaganak\\_elmeleti\\_kerdesei.pdf](https://www.nemzetesbiztonsag.hu/cikkek/dobos_edina-az_energiaellatas_biztonsaganak_elmeleti_kerdesei.pdf)
- Egyensúly Intézet (2023): *Hogyan újítsuk meg 2030-ra Magyarország energiarendszerét?* Online: [https://www.egyensulyintezet.hu/wp-content/uploads/2023/03/ei\\_energia\\_javaslat.pdf](https://www.egyensulyintezet.hu/wp-content/uploads/2023/03/ei_energia_javaslat.pdf)
- Energiaügyi Minisztérium [é. n.]: *Magyarország benyújtotta felülvizsgált Nemzeti Energia- és Klimatervét*. Magyarország Kormánya. Online: <https://www.kormany.hu/hirek/magyarorszag-benyujtotta-felulvizsgalt-nemzeti-energia-es-klimatervet>
- Időrendi áttekintés – Az európai zöld megállapodás és az „Irány az 55%!” intézkedéscsomag [é. n.]. *Consilium*. Online: <https://www.consilium.europa.eu/hu/policies/european-green-deal/timeline-european-green-deal-and-fit-for-55/>
- KÁDÁR Pál (2022): Gondolatok a védelmi-biztonsági szabályozás egyes kérdéseiről. *Honvédségi Szemle*, 150(1), 3–19. Online: <https://doi.org/10.35926/HSZ.2022.1.1>
- KÁDÁR Pál szerk. (2023): *A védelmi és biztonsági szabályozás magyarországi reformja*. [H. n.]: Nemzeti Közszerkeleti Egyetem Védelmi-Biztonsági Szabályozási és Kormányzástani Kutatóműhely. Online: <https://hhk.uni-nke.hu/document/hhk-uni-nke-hu/A%20VÉDELMI%20ÉS%20BIZTONSÁGI%20SZABÁLYOZÁS%20MAGYARORSZÁGI%20REFORMJA%202023%2009%2001.pdf>
- KRAJNC Zoltán szerk. (2019): *Hadtudományi Lexikon*. Budapest: Dialóg Campus.
- LÁNYI András (2019): A fejlődéstől a fenntarthatóságig. *Ökopolitika – Karátsón Gábor Kör*, 2019. február 10. Online: <https://www.okopolitika.hu/publikaciok/publikaciok/11-a-fejlodestol-a-fenntart-hatosagig>
- HERVAINÉ SZABÓ, Gyöngyvér szerk. (2015): *A 21. század eleji államiság kérdőjelei*. Székesfehérvár: Kodolányi János Főiskola.
- MEADOWS, Donella H. et al. (1972): *The Limits to Growth*. New York: Universe Books. Online: <https://www.donellameadows.org/wp-content/userfiles/Limits-to-Growth-digital-scan-version.pdf>
- MEADOWS, Donella H. – MEADOWS, Dennis L. – RANDERS, Jørgen (1992): *Beyond the Limits. Confronting Global Collapse. Envisioning a Sustainable Future*. White River Junction, VT: Chelsea Green Publishing.
- Milyen mértékű az uniós tagállamok energiainport-függősége? [é. n.]. *Consilium*. Online: <https://www.consilium.europa.eu/hu/infographics/how-dependent-are-eu-member-states-on-energy-imports/>
- MVM (2021): *Integrált Jelentés 2021*. Online: [https://www.atomeromu.mvm.hu/-/media/PAZrtSite/Documents/Rolunk/Kozerdeku/Jelentesek/CSRJelentes/MVM\\_Csoport\\_Integralt\\_Jelentes\\_2021.ashx](https://www.atomeromu.mvm.hu/-/media/PAZrtSite/Documents/Rolunk/Kozerdeku/Jelentesek/CSRJelentes/MVM_Csoport_Integralt_Jelentes_2021.ashx)
- Országgyűlés Hivatala Közgűjteményi és Közművelődési Igazgatóság Képviselői Információs Szolgálat (2022): *Klímaalkalmazkodás. Infójegyzet*, (1). Online: [https://www.parlament.hu/documents/10181/63291245/Infójegyzet\\_2022\\_1\\_klimaalkalmazkodas.pdf/56ec0ead-e891-2355-62fe-e451088ed187?t=1653476105795](https://www.parlament.hu/documents/10181/63291245/Infójegyzet_2022_1_klimaalkalmazkodas.pdf/56ec0ead-e891-2355-62fe-e451088ed187?t=1653476105795)
- SÍPOSHEGYI Zoltán (2023): Copernicus Intézet: 2022 volt a második legmelegebb év Európa történetében. *Euronews*, 2023. január 10. Online: <https://www.hu.euronews.com/green/2023/01/10/copernicus-intezet-2022-volt-a-masodik-legmelegebb-ev-europa-torteneteben>
- STERN, Nicholas H. (2006): *The Stern Review: The Economics of Climate Change*. London: Great Britain Treasury. Online: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511817434>

- THORPE, George Cyrus (1917): *Pure Logistics. The Science of War Preparation*. Kansas City, MO: Franklin Hudson Publishing Co.
- TÓTH Péter – HORVÁTH Helga (2012): *A szubjektív biztonságérzetet befolyásoló tényezők Magyarországon*. Online: <https://www.adoc.pub/a-szubjektiv-biztonsagerzetet-befolyasolo-tenyezok-magyarorsz.html>
- Világunk átalakítása: Fenntartható Fejlődési Keretrendszer 2030 [é. n.]. Online: <https://www.ensz.kormany.hu/download/7/06/22000/Vil%C3%A1gunk%20%C3%A1talak%C3%ADt%C3%A-1sa%20Fenntarthat%C3%B3%20Fejl%C5%91d%C3%A9si%20Keretrendszer%202030.pdf>
- VON CLAUSEWITZ, Carl (1961–1962): *A háborúról I–II*. Budapest: Zrínyi.
- YERGIN, Daniel (2006): Ensuring Energy Security. *Foreign Affairs*, 85(2), 69–82. Online: <https://doi.org/10.2307/20031912>
- ZSOLT Melinda (2023): *Az Európai Unió megújuló energiákra vonatkozó törekvései és a közös kül- és biztonságpolitika*. Doktori (PhD) értekezés. Nemzeti Közszolgálati Egyetem. Online: <https://doi.org/10.17625/NKE.2024.027>

## Jogi források

- 1163/2020. (IV. 21.) Korm. határozat Magyarország Nemzeti Biztonsági Stratégiájáról
- 1352/2022. (VII. 21.) Korm. határozat a Kormány ügyrendjéről
- 1393/2021. (VI. 24.) Korm. határozat Magyarország Nemzeti Katonai Stratégiájáról
- 182/2022. (V. 24.) Korm. rendelet a Kormány tagjainak feladat- és hatásköréről
2007. évi LXXXVI. törvény a villamos energiáról
2008. évi XL. törvény a földgázellátásról
2013. évi XXIII. törvény a behozott kőolaj és kőolajtermékek biztonsági készletezéséről
2015. évi LVII. törvény az energiahatékonyságról
2020. évi XLIV. törvény a klímavédelemről
2021. évi XCIII. törvény a védelmi és biztonsági tevékenységek összehangolásáról
2024. évi LXXXIV. törvény a kritikus szervezetek ellenálló képességéről
2024. évi LXXXIV. törvény indoklása a kritikus szervezetek ellenálló képességéről
- 23/2018. (X. 31.) OGY határozat a 2018–2030 közötti időszakra vonatkozó, 2050-ig tartó időszakra kitekintést nyújtó második Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégiáról
- 94/1998. (XII. 29.) OGY határozat Magyar Köztársaság biztonság- és védelempolitikai alapelveiről
- Az Európai Parlament és a Tanács 2012/27/Eu irányelve (2012. október 25.) az energiahatékonyságról, a 2009/125/EK és a 2010/30/EU irányelv módosításáról, valamint a 2004/8/EK és a 2006/32/EK irányelv hatályon kívül helyezéséről
- EU biodiverzitási stratégia 2030-ig
- Európai Tanács (2015): Az éghajlatváltozásról szóló párizsi megállapodás
- European Environmental Agency: Az időjárásról és éghajlattal összefüggő európai események gazdasági veszteségei és halálos áldozatai
- European Green Deal. Az európai zöldmegállapodás
- Magyarország Alaptörvénye
- Magyarország nemzeti katasztrófakockázat-értékeléséről szóló jelentése (2023)
- Második Nemzeti Éghajlatváltozási Terv – 23/2018. (X. 31.) OGY határozat

Nemzeti Energia- és Klímaterv

Nemzeti Energia- és Klímaterv, 2023. évi felülvizsgált változat

Nemzeti Energiastratégia 2030, kitekintéssel 2040-ig

Nemzeti Energiastratégiáról szóló 77/2011. (X.14) OGY határozat

Nemzeti Épületenergetikai Stratégia

Nemzeti Tiszta Fejlődési Stratégia 2020–2050

Horváth Krisztián<sup>1</sup> 

# A lánctalpas futóművű járművek zaj- és rezgésszimulációja

## Noise and Vibration Simulation of Tracked Vehicles

A lánctalpas járművek működése során keletkező zaj- és rezgéshatások jelentős szerepet játszanak a szerkezeti megbízhatóságban és az akusztikai jellemzőkben. Az ipar és a tudományos élet egyre nagyobb figyelmet fordít a kapcsolt multifizikai szimulációs módszerekre. Ezek a módszerek integrálják a mechanikai, akusztikai és dinamikai modellezési technikákat, amelyek alkalmazhatók a zaj- és rezgésszintek pontos előrejelzésére. A jelenlegi kutatások a többtest-dinamika (MBD – multibody dynamics), a véges elemes módszer (FEM – finite element method) és a határelemes módszer (BEM – boundary element method) kombinációjára építenek, lehetővé téve a szerkezeti, kontakt- és akusztikai folyamatok együttes vizsgálatát. Jelen tanulmány bemutatja a lánctalpas járművek legmodernebb (state-of-the-art) zajszimulációs megközelítéseit, amelyek ötvözik az ipari és akadémiai fejlesztések legújabb eredményeit. A szimulációs eredmények alapján megállapítható, hogy a kapcsolt multifizikai modellek képesek előre becsülni a várható szerkezeti zajszinteket és azok terjedési jellemzőit. Ez biztosítani tudja a hatékonyabb zajcsökkentési stratégiák kidolgozását már a koncepcionális, tervezési fázisban, csökkentve ezzel a fejlesztési időt és költségeket.

**Kulcsszavak:** lánctalpas járművek, zajszimuláció, zaj- és rezgéscsökkentés, többtest-dinamika, véges elemes módszer, határelemes módszer

*The noise and vibration effects generated during the operation of tracked vehicles play a significant role in their structural reliability and acoustic characteristics. Industry and academia are increasingly paying attention to coupled multiphysics simulation methods. These methods integrate mechanical, acoustic and dynamic modeling techniques, which can be used to accurately predict noise and vibration levels. Current research builds on the combination of multibody dynamics (MBD), finite element method (FEM) and boundary element method (BEM), allowing the simultaneous investigation of structural, contact and acoustic processes. This paper presents*

<sup>1</sup> Széchenyi István Egyetem Járműfejlesztési Tanszék, e-mail: [horvath.krisztian@ga.sze.hu](mailto:horvath.krisztian@ga.sze.hu)

*the state-of-the-art noise simulation approaches for tracked vehicles, which combine the latest results from industrial and academic developments. Based on the simulation results, it can be concluded that coupled multiphysics models are able to predict the expected structure-borne noise levels and their propagation characteristics. This can ensure the development of more effective noise reduction strategies already in the conceptual and design phase, thereby reducing development time and costs.*

**Keywords:** tracked vehicles, noise simulation, noise and vibration reduction, multibody dynamics, finite element method, boundary element method

## Bevezetés

A láncaltalpas járműveket széleskörűen alkalmazzák mind katonai, mind polgári területeken, beleértve a mezőgazdasági, építőipari és bányászati felhasználást is. A láncaltalpas járművek terepjáró képessége elengedhetetlen a nehéz terepi körülmények között való munkavégzéshez. A katonai alkalmazások során a láncaltalp fontos szerepet játszik a harcjárművekben és a logisztikai szállítójárművekben, míg a civil szektorban például a földmunkagépek és az erdészeti gépek között található meg.

Az ilyen típusú járművek működése során azonban jelentős vibrációval és zajjal lehet számolni. A túlzott, nem kívánatos rezgések nemcsak a jármű környezetének és kezelőszemélyzetének kényelmét befolyásolják, hanem hatással lehetnek a fedélzeti eszközök megbízhatóságára is.<sup>2</sup> A láncaltalpas járművekben keletkező szerkezeti vibráció fő forrásai a futómű komponenseiben fellépő dinamikus erők, mint például a láncaltalpak és a vezetőkerék, a támasztógörgők és a felfüggesztési rendszer kölcsönhatásai. Ezek a gerjesztő erők a jármű alvázat és karosszériáját különböző átviteli utakon (*transfer path*) keresztül vibrációra kényszerítik. A gerjesztett elemeken keresztül szerkezeti zajként továbbterjed a belső térbe, valamint a felületről lesugárzott zajt generál a külső környezetben.

Az elmúlt években a kutatások a numerikus szimulációs módszerek alkalmazására összpontosítottak az e típusú zajok előrejelzésére. A szimulációk lehetővé teszik a vibrációs viselkedés és a zajképző mechanizmusok megközelítő elemzését. A szimulációs módszerek lehetőséget biztosítanak a zajforrások még a tervezési fázisban történő korai azonosítására, amelyek segítségével zajcsökkentési stratégiák dolgozhatók ki. Ezen módszerek közül különösen fontos a többtest-dinamika (MBD-), a véges elemes (FEM-) és a határelemes (BEM-) módszer és ezek integrálása multifizikai szimulációkká a pontos modellezés érdekében. Az MBD segítségével modellezhető a láncaltalpas futómű dinamikája, míg a FEM- és a BEM-módszer az alváz szerkezeti és akusztikai jellemzőinek előrejelzésére alkalmazható.

Jelen cikk célja, hogy bemutassa a numerikus szimulációs technikák alkalmazását a láncaltalpas járművek zaj- és vibrációcsökkentésében, különös tekintettel az MSC ADAMS ATV

---

<sup>2</sup> KOVÁCSHÁZY 2017.

Toolkit (Advanced Tracked Vehicle Toolkit) eszközkészletre. A Toolkitet kifejezetten láncaltalpas járművek MBD-szimulációjára fejlesztették.<sup>3</sup>

## Az ATV Toolkit bemutatása

Az MSC ADAMS Tracked Vehicle (ATV) Toolkit fejlett eszközkészlet, amely kifejezetten láncaltalpas járművek dinamikai szimulációjára szolgál. Az ATV-modul lehetővé teszi a láncaltalpak, a futómű és az alváz közötti interakciók pontos modellezését, beleértve:

- a láncaltalpak érintkezési modelljeit (például kemény és puha talajviszonyok között);
- a láncfeszítés hatásait és a láncaltalpak deformációját;
- a támasztógörgők és lánckerekek érintkezési erőit és azok rezgésátviteli útjait;
- a jármű sebességének és a terep egyenetlenségeinek hatását a vibrációra.

Az ATV segítségével egyszerűbb és gyorsabb modellezés végezhető. Támogatja a Bekker-elmélet-alapú puha talajinterakciót és a 3D útfelületek definiálását az ADAMS/Tire formátumban. Az ATV biztosítja a lánc tagok közötti erőalapú kapcsolatokat és az automatikus feszítést. A szimulációs modell akár külső vezérlőrendszerekkel is bővíthető, például aktív szabályozási struktúrákhoz illesztve. Továbbá natívan támogatja az OpenCRG útfájlokat, amelyekkel pontosabban kiszámíthatók a láncaltalpas járművek érintkezési erői.

Az ATV Toolkit 2024.1 verziója továbbfejlesztett rugalmas láncaltalpelemeket is tartalmaz, ami pontosabb érintkezési modellezést tesz lehetővé.<sup>4</sup> Mindezek mellett a 2022.3 verzióban lehetővé vált a váltakozó bordázat kialakítása, amely javítja a tapadást és optimalizálja a mozgásdinamikát különböző felületeken.<sup>5</sup>

## Numerikus modellezési módszerek

A láncaltalpas járművek zaj- és vibrációanalíziséhez alkalmazott numerikus modellezési módszerek, az MBD, a FEM és a BEM összekapcsolása lehetővé teszi a futómű dinamikai viselkedésének, az alváz szerkezeti válaszáinak és a belső tér akusztikai jellemzőinek részletes elemzését.<sup>6</sup>

## Többtest-dinamika (MBD)

A láncaltalpas járművek futóművének modellezésében az MBD elengedhetetlen módszer. Az ilyen módszerű modellek lehetővé teszik a láncaltalpak, a támasztógörgők, a lánckerék és az alváz közötti kölcsönhatások szimulációját. A modellek többek között képesek figyelembe venni a futómű komponenseinek érintkezési erőit, rugalmasságát és csillapítását.

<sup>3</sup> Adams Tracked Vehicle (ATV) Toolkit [é. n.].

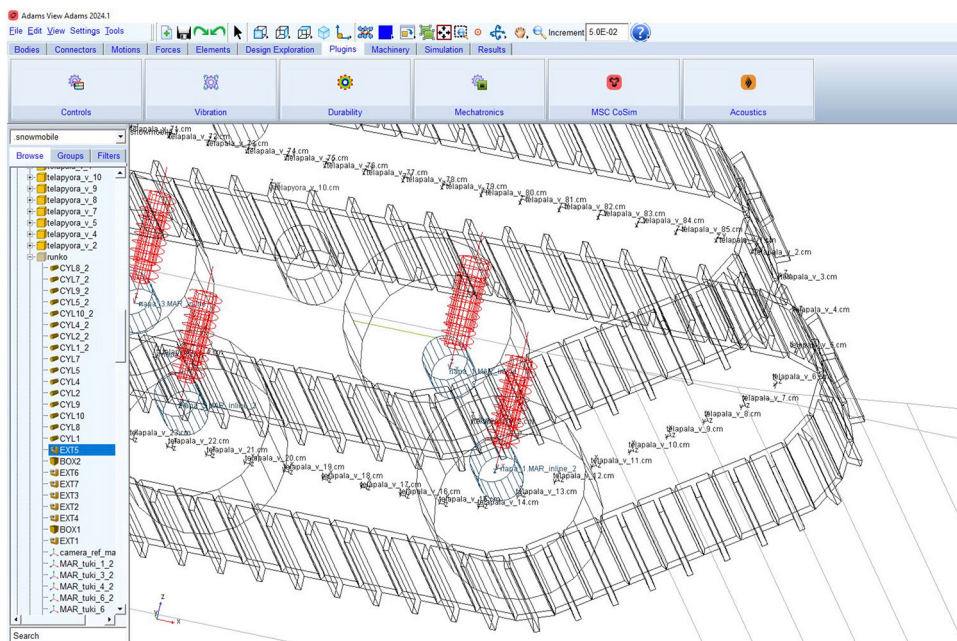
<sup>4</sup> What's New in Adams Tracked Vehicle (ATV) Toolkit 2024.1 2024.

<sup>5</sup> What's New in Adams Tracked Vehicle (ATV) Toolkit 2022.3 2022.

<sup>6</sup> TRAN-PHAM 2023.

A vezető kereskedelmi MBD-szoftverek, mint például az MSC ADAMS<sup>7</sup> segítségével létrehozott modellek pontosan reprezentálják a lánctalpak és az alváz közötti érintkezési hatásokat és a dinamikus reakciókat. Az érintkezési erők meghatározásához rugós-csillapítós modelleket alkalmaznak, amelyek az ütközési energiák csillapítását szimulálják. Ezek a modellek lehetőséget biztosítanak a talajjal való interakció vizsgálatára is, beleértve a puha talaj (homok, hó) hatásait.<sup>8</sup> A páncélozott lánctalpas járművek rezgési forrásai elsősorban a futómű, a motor, a sebességváltó, a lánctalpak és az alváz szerkezeti merevségének kölcsönhatásaiból erednek.<sup>9</sup>

Az előre jelzett interakciós erők alapján a futómű és az alváz kapcsolatának rezgési válasza meghatározható, amely elengedhetetlen a zaj előrejelzéséhez.<sup>10</sup> Leiviskä CV90 modellen végzett szimulációi szerint a lánctalpas járművek mozgása közben fellépő centrifugális erők és a lánccfesztítés jelentősen befolyásolja az erőátvitelt és a vibrációs viselkedést.<sup>11</sup> A Nguyen és társai által kidolgozott matematikai modell részletesen elemzi a torziós rúd alapú felfüggesztés nemlineáris dinamikáját és annak hatását a jármű rezgéseire.<sup>12</sup> Az 1. ábra az MSC ADAMS View 2024.1 szoftverben létrehozott MBD-modellt mutatja be, amely tartalmazza a lánctalpak érintkezési pontjait, az alváz szerkezeti elemeit és a futómű komponenseit.



1. ábra: Lánctalpas jármű MBD-modellje az MSC ADAMS környezetben  
Forrás: a szerző felvétele

<sup>7</sup> ADAMS [é. n.].

<sup>8</sup> QIAO–WANG–ZHAO 2022.

<sup>9</sup> ZAFER–AYBAR 2023.

<sup>10</sup> LIU et al. 2006.

<sup>11</sup> LEIVISKÄ 2021.

<sup>12</sup> NGUYEN–KIM–LEE 2019.

## Véges elemes módszer (FEM)

A FEM kulcsszerepet játszik a lánctalpas járművek szerkezeti analizisében, például az alváz és a futómű vibrációs viselkedésének modellezésében is. A FEM lehetővé teszi az alváz és a karosszéria rezgési módusainak vizsgálatát különböző frekvenciatartományokban.<sup>13</sup>

A FEM-modellekben:

- a lánctalpas járművek szerkezeteit különböző hálózási technikákkal (héj- és gerendaelemekkel) modellezzik;
- anyagtulajdonságokat és szerkezeti csillapításokat állítanak be a pontos vibrációs előrejelzés érdekében;
- a statikus és dinamikus terhelések elemzése az alváz, a futómű és például a lánctalp egyéb szerkezeti elemeinek tartóssági viselkedésének optimalizálására összpontosít.

A dinamikai frekvenciaválasz-elemzések során az alváz deformációját és sebességeit a hallható frekvenciatartományban célszerű vizsgálni. A dinamikai módusok elemzése lehetővé teszi az alváz rezonanciáinak és ezek hatásainak azonosítását. Az ilyen típusú elemzéseket általában kereskedelmi szoftverekkel végzik.

## Határelemes módszer (BEM)

A BEM az akusztikai zajszintek előrejelzésére szolgál. A BEM-modellek segítségével a külső és belső tér akusztikai nyomáseloszlása számítható ki a térben, amely a szerkezeti vibrációból származik. A modell alapja a Helmholtz-egyenlet, amely leírja az akusztikus hullámok terjedését a frekvenciatartományban.

A frekvenciaválasz-elemzésekből származó adatok a BEM-modell bemeneti feltételeiként szolgálnak. A FEM- és BEM-modellek kompatibilitását biztosítva lehetővé válik a pontos zajszint-előrejelzés az utastérben.<sup>14</sup> Az alacsonyabb frekvenciákon a BEM-modellek pontosabb előrejelzést nyújtanak a zajszintekre, míg magasabb frekvenciákon a pontosság csökkenhet.

A BEM egyik nagy előnye, hogy csak a szerkezeti felületet kell hálózni,<sup>15</sup> ami jelentősen csökkenti a számítási kapacitásigényt.<sup>16</sup> A BEM alkalmazásával az optimális zajcsökkentési intézkedések meghatározhatók (például zajelnyelő, poroelasztikus anyagok [PEM] és akusztikai burkolatok beépítése a szerkezetek megfelelő pontjain).

## Az MBD-, a FEM- és a BEM-módszer integrációja

Az MBD-, a FEM- és a BEM-módszer multifizikai integrációja kulcsfontosságú a lánctalpas járművek teljes zaj- és vibrációs viselkedésének megértéséhez. A kapcsolt szimulációk során az MBD-modellekből származó érintkezési erők a FEM-modellek számára szolgáltatnak

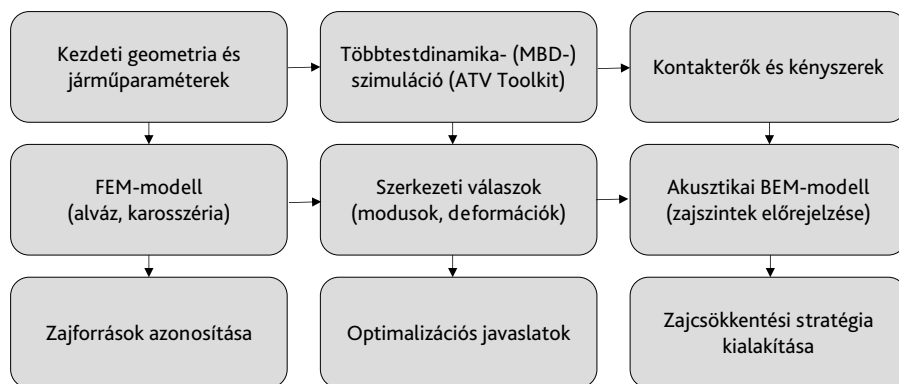
<sup>13</sup> HOSEINI-FOROUZAN 2010.

<sup>14</sup> LI-LI et al. 2015.

<sup>15</sup> FENNER 1983.

<sup>16</sup> FENG et al. 2013.

bemeneti adatokat, míg a FEM-modellek saját módusai biztosítják az MBD-modellek rugalmastest-tulajdonságait. Végül a dinamikai válaszok BEM-modellekben alkalmazhatók akusztikai elemzésekhez. Az így létrehozott kapcsolt, holisztikus modellek lehetővé teszik a láncotalpas járművek viselkedésének pontos szimulációját, illetve a későbbi zajscsökkentési stratégiák kidolgozását, optimalizálását. A szimuláció teljes folyamatát a 2. ábra szemlélteti, amely bemutatja a többtest-dinamikai, szerkezeti és akusztikai szimulációk egymásra épülő lépéseit.



2. ábra: A numerikus szimulációs folyamat fő lépései, az MBD-, a FEM- és a BEM-módszer integrációjával

Forrás: a szerző szerkesztése

## Zajscsökkentési stratégiák

A láncotalpas járművek működése során keletkező zaj és rezgés jelentős hatással van a jármű akusztikai teljesítményére és szerkezeti integritására. A zajscsökkentési stratégiák kidolgozása érdekében különböző módszerek alkalmazhatók. Ezen módszerek célja a vibrációs szintek csökkentése és a szerkezeti zajterjedés minimalizálása. Az alábbi fejezetben bemutatjuk a legfontosabb megoldásokat.

### A láncotalpak érintkezési zajának csökkentése

- Gumialapú burkolatok alkalmazása: A láncotalpakon elhelyezett speciális gumibetétek akár 6–8 dBA zajscsökkentést is eredményezhetnek, mivel csökkentik az érintkezési ütések erejét és az abból származó zajt.
- Geometriai optimalizáció: A láncotalpak érintkezési szögeinek és profiljának finomhangolása mérsékli a poligonhatást, amely a láncotalpak mozgása során keletkező periodikus zaj egyik fő forrása.

## A hajtáslánc rezgéscsökkentése

- A nyomatékviteli elemek optimalizálása: A hajtómotor és a láncaltalpak közötti kapcsolódási elemek rugalmasságának növelése akár 10%-kal is csökkentheti a rezgési amplitúdókat, ezáltal mérsékelve a zajszinteket.
- Rezgéscsillapítók alkalmazása: A gumialapú és a viszkoelasztikus csillapítóelemek beépítése a hajtáslánc és az alváz között 10–15%-kal csökkentheti az RMS-vibrációs szinteket a 63–160 Hz frekvenciatartományban.

## Szerkezeti módosítások

- Merevítők alkalmazása: Az alváz kritikus pontjainak megerősítése csökkentheti a rezonanciákból adódó zajterjedést.
- A láncaltalpak érintkezési erőinek csökkentése: Az anyagválasztás és a láncszemek optimalizált geometriája akár 8%-kal mérsékelheti az érintkezési erőket, ami jelentősen csökkenti a vibrációs amplitúdókat.

## Akusztikai árnyékolás és abszorpció

- Hangszigetelő anyagok alkalmazása: Az utastér falainál a magas abszorpciós képességű anyagok alkalmazása 3–5 dBA zajcsökkenést eredményezett.
- Zajelnyelő panelek és bevonatok használata: Az alváz és a hajtáslánc környezetében elhelyezett speciális bevonatok további 3–5 dBA zajcsökkenést biztosítottak.

## Digitális modellezési és optimalizációs megoldások

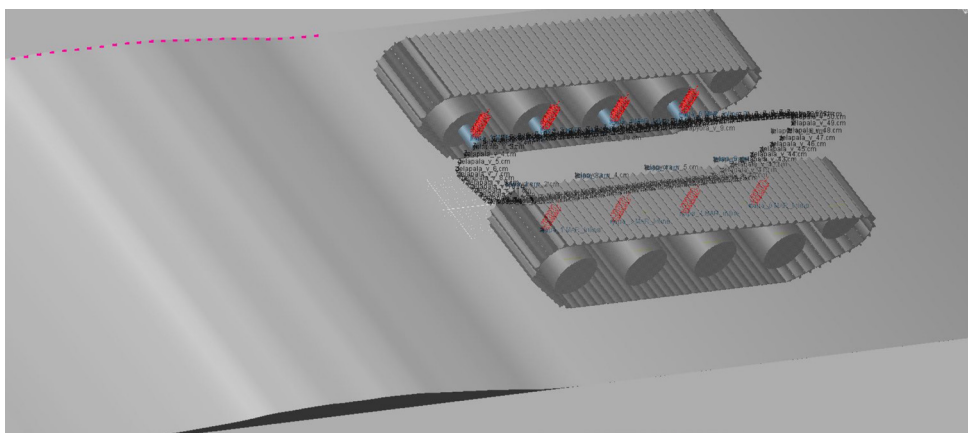
- Numerikus modellezés alkalmazása: Az MBD-, a FEM- és a BEM-módszer integrált használata lehetővé teszi a szerkezeti és akusztikai jellemzők pontos előrejelzését, segítve a zajforrások azonosítását már a tervezési fázisban.
- Gépi tanulás alapú prediktív modellezés: A mesterséges intelligencia és a digitális-iker-technológia alkalmazása elősegíti az optimális zajcsökkentési beállítások gyors meghatározását, valamint a fejlesztési idő csökkentését.

## Az elhaladási zaj elemzése

A katonai és ipari alkalmazások során különösen meghatározó lehet az elhaladási zaj. A jármű mozgása során keletkező zajszintek jelentősen befolyásolhatják a környezeti zajterhelést vagy akár a jármű észlelhetőségét. A 3. ábra a láncaltalpas jármű terepi környezetben végzett szimulációját mutatja be.

## Az elhaladási zaj fő forrásai

- A lánctalpak és a talaj kölcsönhatása: A lánctalpak és a talaj közötti dinamikus interakció a domináns zajforrás, különösen egyenetlen terepen. Az érintkezési erők ingadozása és a láncszemek ütközései közvetlen hatással vannak a zajszinthez.
- Polygonhatás és láncgeometria: A lánctalpak mozgásából adódó periodikus zajforrások frekvenciája a jármű sebességével arányosan növekszik, leginkább a középfrekvenciás tartományban (160–250 Hz) jelentkezve.
- A hajtáslánc által keltett rezgések: A hajtómotor és a lánctalpak közötti nyomaték-átvitel során fellépő rezgések különösen nagy sebességnél jelentősen hozzájárulnak az elhaladási zajszinthez.



3. ábra: Lánctalpas jármű dinamikai viselkedésének vizsgálata terepi környezetben

Forrás: a szerző felvétele

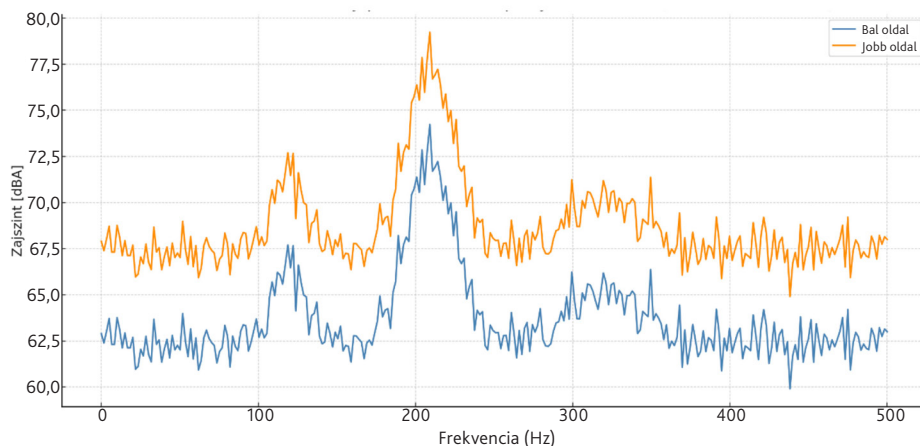
## Szimulációs eredmények

A numerikus modell szimulációja során egy lánctalpas jármű előrehaladását vizsgáltuk egyenetlen terepviszonyok között. A többtest-dinamikai modell 3D lánctalpelemeket, felfüggesztést és rugalmas alvázat tartalmazott, míg az akusztikai elemzéseket a jármű alvázán keletkező gyorsulási adatok alapján végeztük.

A szimuláció alapján az elhaladási zaj spektruma főként a 120–250 Hz frekvenciatartományban mutatott kiugró értékeket, ami a lánctagok periodikus becsapódásából és a felfüggesztés sajátfrekvenciájából adódott. Az elhaladási zaj csúcspontja 210 Hz körül alakult, ahol a sugárzott hangteljesítmény elérte a 80 dBA értéket. Ezek az adatok összhangban állnak a terepi lánctalpas járműveknél tapasztalt jellemző zajprofilokkal.

Az oldalirányban rögzített akusztikai szintek  $\pm 5$  dBA eltérést mutattak a két oldal között, ami a lánctalpak aszimmetrikus terhelésére, illetve a talaj-lánctalp érintkezési zónák

különbségére vezethető vissza. Az alváz bal oldalán jellemzően magasabb zajszint jelentkezett, ami a futómű rugalmas reakcióinak következménye. A 4. ábra szemlélteti a szimuláció alapján kapott zajspektrumot, amelyen jól látható a 210 Hz körül jelentkező domináns csúcs.



4. ábra: Becsült elhaladási zajspektrum lánctalpas jármű esetén

Forrás: a szerző szerkesztése

Az eredmények igazolták, hogy az alkalmazott integrált MBD–FEM–BEM-modell képes előre jelezni a domináns zajforrásokat, illetve az oldalirányú zajszintek aszimmetriáját is megmutatta. A szimulációs modell kiváló kiindulási állapot nyújthat zajcsökkentési megoldások (például akusztikai burkolatok, a rugózás módosítása) javaslatához.

## Összefoglaló

A tanulmány bemutatja a lánctalpas járművek zaj- és vibrációcsökkentésének numerikus modellezési megközelítéseit. Ismerteti a többtest-dinamika (MBD-), a véges elemes (FEM-) és a határelemes (BEM-) módszer integrációját. Az alkalmazott szimulációk pontos képet adnak a jármű futóművének dinamikai viselkedéséről, az alváz szerkezeti válaszairól, valamint a belső tér és az elhaladási zaj jellemzőiről.

Az MBD-modellek részletesen vizsgálják a lánctalpak és a talaj, valamint a jármű egyéb komponensei közötti érintkezési erőket, míg a FEM-modellek az alváz rezonanciáinak és vibrációs válaszainak meghatározására szolgálnak. A BEM-modellek lehetővé teszik a belső tér és az elhaladási zaj akusztikai nyomáseloszlásainak előrejelzését.

Az elhaladási zaj vizsgálata rávilágított arra, hogy a lánctalpak érintkezési dinamikája és a hajtáslánc által keltett rezgések a fő zajforrások. A hangcsillapítási stratégiák, mint például a gumialapú rezgéscsillapítók alkalmazása, az alváz merevítése és a lánctalpak geometriai finomhangolása, jelentős zajcsökkentést eredményezhetnek. Az elhaladási zaj szintjét akár 6–8 dBA-val lehetséges mérsékelni. A belső tér zajszintje átlagosan 3–5 dBA-val csökkenthető az akusztikai árnyékolás és abszorpciós anyagok alkalmazásával.

A kutatás eredményei alátámasztják, hogy a numerikus modellezési módszerek hatékony eszközként szolgálnak a láncaltapas járművek zaj- és vibrációcsökkentési stratégiáinak fejlesztésére. A jövőbeni kutatások a magasabb frekvenciatartományok pontosabb elemzésére, a terepi mérések integrációjára és a digitálisiker-technológia alkalmazására koncentrálhatnak, tovább növelve a modellek pontosságát és a fejlesztési folyamat hatékonyságát.

## Felhasznált irodalom

- Adams [é. n.]. *Hexagon*. Online: <https://www.hexagon.com/products/product-groups/computer-aided-engineering-software/adams>
- Adams Tracked Vehicle (ATV) Toolkit [é. n.]. *Hexagon*. Online: <https://www.simcompanion.hexagon.com/customers/s/article/adams-tracked-vehicle--atv--toolkit-kb8015437>
- FENG, Jinlong et al. (2013): Low-Frequency Acoustic-Structure Analysis Using Coupled FEM-BEM Method. *Mathematical Problems in Engineering*. Online: <https://www.doi.org/10.1155/2013/583079>
- FENNER, R. (1983): The Boundary Integral Equation (Boundary Element) Method in Engineering Stress Analysis. *The Journal of Strain Analysis for Engineering Design*, 18(4), 199–205. Online: <https://www.doi.org/10.1243/03093247V184199>
- HOSEINI, R. – FOROUZAN, M. R. (2010): Dynamic Analysis of a Modified Truck Chassis. *The International Conference on Applied Mechanics and Mechanical Engineering*, 14, 1–7. Online: <https://www.doi.org/10.21608/amme.2010.38107>
- KOVÁCSHÁZY Miklós (2018): A páncélozott harcjárművek vizsgálata, összehasonlítása és értékelése a mozgékonyaság tükrében című doktori (PhD) értekezés bemutatása. *Katonai Logisztika*, 26(1–2), 108–132. Online: <https://doi.org/10.30583/2018/1-2/108>
- LEIVISKÄ, Albin (2021): *Load Generation on a CV90 Track System Using Multibody Dynamics*. Thesis. Umeå University. Online: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1595832/FULLTEXT01.pdf>
- LI-LI, W. et al. (2015): Simulation and Experiment of Cabin Radiation Acoustic Field Using FEM/ BEM Methods. *Noise and Vibration Control*, 35(2), 24–27. Online: <https://www.nvc.sjtu.edu.cn/EN/10.3969/j.issn.1006-1335.2015.02.006>
- LIU, Z. S. et al. (2006): Prediction of Noise Inside Tracked Vehicles. *Applied Acoustics*, 67(1), 74–91. Online: <https://www.doi.org/10.1016/J.APACOUST.2005.05.003>
- NGUYEN, Quy Hung – FURCH, Jan (2019): *Mathematical Model for Vibration Analysis of Tracked Vehicle*. 2019 International Conference on Military Technologies (ICMT), IEEE. Online: <https://doi.org/10.1109/MILTECHS.2019.8870060>
- QIAO, Xin-Yong – JIN, Ying – GU, Cheng (2022): Vibration Response and Evaluation Method of High-Speed Tracked Vehicles Driving Off-Road. *Shock and Vibration*, 1, 1–18. Online: <https://doi.org/10.1155/2022/2866236>
- TRAN, Huu Nhan – PHAM, Ngoc Dai (2023): Application of Simulation Methods on Vibration Analysis of a Bus Driver Seat Using the Quarter Car 3DOF Model Subjected Under Harmonic Excitation. *VNUHCM Journal of Engineering and Technology*, 6(2), 1906–1916. Online: <https://www.doi.org/10.32508/stdjet.v6i2.1074>
- What's New in Adams Tracked Vehicle (ATV) Toolkit 2022.3 (2022). *Hexagon*, 2022. október 20. Online: <https://www.simcompanion.hexagon.com/customers/s/article/What-New-ATV-2022-3>
- What's New in Adams Tracked Vehicle (ATV) Toolkit 2024.1 (2024). *Hexagon*, 2024. augusztus 20. Online: <https://www.simcompanion.hexagon.com/customers/s/article/Whats-New-ATV-Toolkit-2024-1>
- ZAHER, Naci – AYBAR, Ufuk (2023): Vibration Analysis and Optimization of a Tracked Armored Vehicle. *Journal of Vibration Engineering & Technologies*, 11, 3177–3184. Online: <https://www.doi.org/10.1007/s42417-022-00739-x>

Brenda Dalma Barbara,<sup>1</sup>  Kanyó Ferenc,<sup>2</sup>  Horváth Galina,<sup>3</sup>   
Vásárhelyi-Nagy Ildikó<sup>4</sup> 

# A reakciókészség fejlesztése megkülönböztető jelzést használó gépjárművezetők körében BlazePod segítségével – 1. rész

## Developing the Reaction Time of Drivers of Emergency Vehicles with the Help of BlazePod – Part 1

*A megkülönböztető jelzést használó járművek vezetése komplex készségeket igényel. A járművezetőknek nemcsak a forgalmi környezethez és a mentési körülményekhez kell alkalmazkodniuk, hanem rendszeres képzésük és észlelési képességeik folyamatos nyomon követése is elengedhetetlen. A közúti járművezetők pályaalakmassági vizsgálatáról szóló szabályozás alapján a járművezetőknek rendelkezniük kell az öt évre kibocsátott PÁV 1. pályaalakmassági vizsgálatával, amelynek része a reakció- és döntéshozatali képességek felmérése. Jelen cikk szerzői elsőként vizsgálták Magyarországon és Európában a BlazePod speciális fejlesztőprogram alkalmazási lehetőségeit a katasztrófavédelmi és sürgősségi egészségügyi ellátás területén. A cikksorozat első részében a szerzők a reakciókészség fejlesztésével kapcsolatos elméleti ismereteket és a BlazePod eszköz alkalmazási lehetőségeit vizsgálják meg. Bemutatják továbbá az empirikus kutatás célkitűzéseit, tartalmát és módszertanát. A cikksorozat második részében pedig empirikus kutatásaik eredményeit fogják összefoglalni.*

**Kulcsszavak:** pályaalakmasság, reakciókészség, BlazePod, megkülönböztető jelzést használó járművek, a közlekedési balesetek megelőzése

<sup>1</sup> Hallgató, Semmelweis Egyetem, e-mail: [dalma.brenda@gmail.com](mailto:dalma.brenda@gmail.com)

<sup>2</sup> Tűzoltósági főfelügyelő, Fővárosi Katasztrófavédelmi Igazgatóság, e-mail: [ferenc.kanyo@katved.gov.hu](mailto:ferenc.kanyo@katved.gov.hu)

<sup>3</sup> Tudományos segédmunkatárs, Nemzeti Közszerológiai Egyetem Rendészettudományi Kar Katasztrófavédelmi Intézet, e-mail: [horvath.galina@uni.nke.hu](mailto:horvath.galina@uni.nke.hu)

<sup>4</sup> Főiskolai tanársegéd, Semmelweis Egyetem, e-mail: [ildiko471@gmail.com](mailto:ildiko471@gmail.com)

*Driving vehicles using distinctive signs requires complex skills. Drivers not only have to adapt to the traffic environment and rescue circumstances, but regular training and continuous monitoring of their perception skills are also essential. According to the regulation on the roadworthiness test of road vehicle drivers, drivers must have the PÁV 1 roadworthiness test issued for five years, which includes an assessment of reaction and decision-making skills. The authors of this article were the first to examine the application possibilities of the BlazePod special development program in the fields of disaster management and emergency healthcare in Hungary and Europe. In the first part of the article series, the authors examine the theoretical knowledge related to the development of responsiveness and the application possibilities of the BlazePod tool. The objectives, content and methodology of the empirical research will also be presented. In the second part of the article series, they will summarise the results of their empirical research.*

**Keywords:** roadworthiness, responsiveness, BlazePod, emergency vehicles, traffic accident prevention

## Bevezetés

A közlekedési balesetek megelőzése és a sürgősségi helyzetek hatékony kezelése érdekében kiemelt figyelmet érdemelnek a megkülönböztető jelzéssel közlekedő járművek vezetői. A járművezetők reakcióideje és döntéshozatali képessége közvetlenül befolyásolja a balesetek elkerülését és az érintettek életének védelmét. A megkülönböztető jelzéssel közlekedő járművek vezetése komplex készségeket igényel, amelyek rendszeres fejlesztést és nyomon követést kívánnak. 2023. január 1-jén lépett hatályba a közúti járművezetők pályaalakmassági vizsgálatáról szóló 444/2017. (XII. 27.) Korm. rendelet, amely alapján a járművezetőknek rendelkezniük kell az öt évre kibocsátott PÁV 1 (Pályaalakmassági Vizsgálat 1) vizsgálatlaltal, amelynek keretében az érintettek reakció- és döntéshozatali képességeit is felméri. Ezzel össze függésben fontos vizsgálni a gépjárművezetők problémáit és viszonyulásukat az ötévente kötelező pályaalakmasság-vizsgálatokhoz.

Kutatások kimutatták, hogy a vezetők magát a vizsgálatot is stresszforrásként élik meg, ami felveti a kérdést, hogy mennyire tapasztalják meg saját munkájukat, választott hivatásukat stresszként.<sup>5</sup> A PÁV 1, amely a megkülönböztető jelzéssel közlekedő járművezetők számára kötelező, a vezetői képességek felmérését végzi, különös figyelmet fordítva a reakció- és döntéshozatali képességek értékelésére. Ugyanakkor ez a vizsgálat csak időszakos, nem biztosít folyamatos lehetőséget a reakcióidő monitorozására és fejlesztésére. Erre a problémára adhat választ a BlazePod, amely a reakcióidő mérését és fejlesztését végzi, így biztosítva, hogy a járművezetők készségei ne csak a PÁV 1 időszakában, hanem azt követően is folyamatosan fejlődjenek. Az eddigi kutatások szerint a gyors döntéshozatal és a vizuális ingerekre adott reakciókészség fejleszthető különböző módszerekkel, beleértve a szimulációs tréningeket,

<sup>5</sup> KONDÁS–KUN–HÉRINC 2016.

a pszichomotoros teszteket és az interaktív reakcióidő-fejlesztő eszközöket, amelyek közé a BlazePod is tartozik.<sup>6</sup>

A BlazePod interaktív reakciófejlesztő eszköz, amely vizuális ingereken, elsősorban szín- és fénylogikákon alapul. A rendszer gyors és pontos válaszadásra ösztönzi a felhasználót, javítva ezzel a reakcióidőt, a kognitív és a koordinációs készségeket.

A szerzők kutatásuk során először az eszköz rehabilitációs területen való alkalmazási lehetőségeit vizsgálták meg. A szakirodalom elemzése megerősítette azt a feltételezést, hogy a BlazePod-edzésprogram alkalmazása a sportolók és a rehabilitáció alatt álló személyek körében is jelentős reakcióidő-fejlődést eredményezhet. A szerzők hipotézise szerint a tréningmódszer olyan csoport számára is kihívást jelenthet, amely az átlagnál fejlettebb reakciókészséggel rendelkezik, amelyet tagjai mindennapi tevékenységeik során is aktívan alkalmaznak. Továbbá a BlazePod és a PÁV 1 között különösen érdekes kapcsolatot találtunk, amely szerint mind a két rendszer fénylogikákra épít.

A PÁV 1 során a járművezetők reakció- és döntéshozatali képességeit olyan fényjelzések segítségével méri, amelyek gyors reakciókat igényelnek. A tesztek szimulált körülmények között zajlanak. A vizsgálat csak az alkalmasságot méri, nem nyújt lehetőséget a készségek fejlesztésére vagy a gyengeségek célzott javítására. A BlazePod is fények és színváltozások révén ösztönzi a felhasználókat gyors válaszadásra, így mindkét rendszer hasonló kognitív és motorikus reakciók fejlesztésére összpontosít. Azonban a BlazePod könnyebb elérhetősége miatt lehetőséget biztosíthat a folyamatos képességfejlesztésre és az alkalmasság objektívebb mérésére. Ezt a párhuzamot figyelembe véve a szerzők arra a következtetésre jutottak, hogy a BlazePodot új területen, a megkülönböztető jelzéssel közlekedő járművezetők reakciókészségének fejlesztésére is lehet alkalmazni.

A jelen kutatás keretében feldolgozott témakör és kutatási tapasztalatok kapcsolódnak a katasztrófavédelmi kutatási területhez, és megfelelő alapot biztosítanak a vonatkozó társadalmi igényeknek történő magas szintű megfeleléshez.<sup>7</sup> A kutatási eredmények katasztrófavédelmi alkalmazásán túl az eredmények sikeresen felhasználhatók a rendvédelmi és a honvédelmi célból üzemeltetett gépjárművek vezetőinek képzésénél is.<sup>8</sup> Ilyen járművek lehetnek például a honvédelmi veszélyesáru-szállítmányok, mint a robbanóanyag-szállítmányok vagy a túlméretes szállítmányok is.<sup>9</sup>

## A reakciókészség fejlesztésével kapcsolatos elméleti ismeretek vizsgálata

Az empirikus kutatás elvégzéséhez szükséges az elméleti háttér megismerése, tanulmányozása és elemzése is. Az alábbiakban a szerzők röviden összefoglalják a gyakorlati vizsgálatuk során használt alapfogalmakat.

<sup>6</sup> COUTINHO et al. 2022.

<sup>7</sup> VASS et al. 2024.

<sup>8</sup> BEREK-FÖLDI-PADÁNYI 2020.

<sup>9</sup> KOVÁCS-EMBER 2023.

## A központi idegrendszer fejlődése

Az idegrendszer – azon belül is leginkább az agy és annak kognitív képességei – az emberi faj legjellegzetesebb tulajdonságai közé tartozik. Napjainkban az agyat az emberi identitással vonhatjuk párhuzamba, hiszen ennek a szervnek a megértése alapvető fontosságú a kérdés megválaszolásához, hogy miért vagyunk képesek komplexebb feladatok elvégzésére elődjeinknél.<sup>10</sup> Az idegrendszer a fejlődés során az egyszerű gerincvelői reflexekből kiindulva komplexebb struktúrává alakult. A gerincvelő biztosította az alapvető, gyors reflexválaszokat, míg az agy fejlődése lehetővé tette a bonyolultabb motoros és kognitív funkciók megjelenését, mint például a tervezés, a tanulás és a döntés készsége. Ahogy az agyi struktúrák egyre kifinomultabbá váltak, a reflexek és a kognitív funkciók közötti kapcsolat is szorosabbá vált, lehetővé téve az integrált válaszokat a környezeti kihívásokra. Ez nemcsak a motoros teljesítményt, hanem az érzékelést és a tudatos döntéshozatalt is fejlesztette, hozzájárulva az emberi faj egyedi képességeihez.

A 19. század elején két kulcsfontosságú esemény vezetett a modern reflexelmélet kialakulásához, amelyek alapvetően hozzájárultak az idegrendszer működésének megértéséhez. Az egyik Legallois kísérlete volt, amely bizonyította a gerincvelő és a reflex kapcsolatát. A másik Bell és Magendie felfedezése, amely rámutatott, hogy a gerincvelő elülső szarvaiból kiinduló idegek a mozgásokat, míg a hátsó szarvból származók az érző funkciókat közvetítik. Ezek a felfedezések hangsúlyozták, hogy a reflex az idegrendszer működési egysége, amely meghatározott idegi szelvényhez kötődik, így megalapozva a kognitív és motoros funkciók közötti összefüggések további vizsgálatát.<sup>11</sup>

A központi idegrendszer kulcsszerepet játszik a reflexek, valamint a tudatos mozgások irányításában, és alapvetően befolyásolja a humán reakciókészséget. A központi idegrendszer fejlettsége közvetlen hatással van az emberi teljesítményre, különösen olyan komplex helyzetekben, ahol a reakciókészségnek kritikus jelentősége van.

## A mozgástanulás idegrendszeri alapjai

A mozgás dinamikus életjelenség, amely az idegrendszer és a mozgató szervrendszer szoros együttműködésének eredményeként jön létre. A mozgatórendszer szoros összefüggésben áll az érzőrendszerrel is. Így alakul ki a szenzomotoros integráció, tehát a szervezet képessége, hogy a környezeti ingereket észlelje, feldolgozza, és a megfelelő motoros válaszokkal reagáljon rá.

A mozgások végrehajtásában kulcsszerepet játszik az agy frontális lebenyében található motoros kéreg (primer motoros, premotoros, szupplementer motoros), a bazális ganglionok, valamint a kisagy. Továbbá a vázizmok működése, az izom keresztmetszete, az izomtónus és a proprioceptív reflexek állapota mind befolyásolja a mozgások kivitelezését.

1. *Motoros cortex.* A motoros kéreg elsődleges funkciója a test mozgásának irányítása. A homloklebeny része és a központi sulcus előtt helyezkedik el. Ez a terület magában foglalja

<sup>10</sup> SOUSA et al. 2017.

<sup>11</sup> JOÓ 2012.

a primer motoros kérget (Brodmann [Br.] 4 zóna), a premotoros kérget (Br. 6 zóna) és a szupplementer motoros áréát. A motoros kéreg a mozgások koordinálásáért felel, biztosítva a különböző ízületek és izomcsoportok összehangolt működését. Ennek köszönhetően képesek vagyunk komplex mozgásokat végezni, mint például a járás és a futás. Ezenkívül a motoros kéreg a kisaggyal és a bazális ganglionokkal együttműködve integrálja az érzékszervekből érkező impulzusokat, így hozzájárul az egyensúly és a testtartás fenntartásához. Specifikus területei, különösen a domináns agyféltekében, alapvető szerepet játszanak a beszédképzésben és a megfelelő mondatkohézió kialakításában. A Broca-terület, amely a bal homloki lebenyben helyezkedik el, nélkülözhetetlen a szavak és a mondatok helyes kiejtéséhez. Ennek a területnek a sérülése afáziát okozhat, ami megnehezíti a folyékony beszédet. A motoros kéreg irányítja továbbá az arc izmait, lehetővé téve az érzelmek kifejezését és megértését. Az arc izmainak finom kontrollja kifejezetten az arc motoros kontrolljára specializálódott területek révén valósul meg, amelyek szoros kapcsolatban állnak a végtagok motoros területeivel, így fontos szerepet játszanak a nonverbális kommunikációban. A motoros kéreg jelentős része a kéz és az ujjak mozgásának irányítására is összpontosít. Így lehetővé teszi a bonyolult ujjmozgásokat, például a gépelést, az írást és a pontos tárgykezelést. Bár az önkéntes szemmozgásokat elsősorban agytörzsi magok irányítják, a motoros kéreg is részt vesz a vizuális követés és a szakkadikus szemmozgások koordinálásában. A kortikális régiók szerepet játszanak a tekintet irányításában és a szemmozgások összehangolásában a fej és a test orientációjával.<sup>12</sup>

2. *A bazális ganglionok rendszere.* A bazális ganglionok a legnagyobb szubkortikális struktúrák az emberi homloklebenyben. Ez a struktúra arra enged következtetni, hogy megfelelő anatómiai pozícióban vannak ahhoz, hogy befolyásolják a homloklebeny végrehajtó funkcióit, a mozgástervezést és a kognitív funkciókat is.<sup>13</sup> A bazális ganglionok rendszere ősbib, mint a piramispálya, és feladata az automatizált, holokinetikus mozgások irányítása, amelyek érzelmi elemeket is magukban foglalnak. Tehát fontos szerepet játszik nemcsak a motoros funkciókban, hanem a viselkedésben, valamint ezek mozgásokhoz való kapcsolódásában is.

3. *A kisagy.* A kisagy alapvető szerepet játszik a mozgásszabályozásban, széles körű információt kap a test minden részéről az izmok és az inak feszüléséről, így képes optimalizálni a mozgások végrehajtását, részt vesz az izomtónus, a testtartás és az egyensúly fenntartásában. Ezenfelül a kisagy szerepet játszik még a magasabb kognitív funkciókban is. A transzneurális nyomkövetési módszerek feltárták, hogy a kisagy kapcsolatban van különböző nem motoros kortikális területekkel is, mint például a prefrontális kéreg, amely neurológiai alapot nyújthat a kisagy kognitív funkciókhoz való hozzájárulásához.<sup>14</sup> A transzneurális nyomkövetési módszerek olyan anatómiai nyomjelzőket használnak, amelyekkel összekapcsolt neuroncsoportokat lehet megjelölni. A nyomjelzőt felveszi egy neuron, eljut a posztszinaptikus terminálhoz, átlépi a szinaptikus kapcsolatot, és a kapcsolódó neuront is megjelöli.<sup>15</sup> Továbbá funkcionális képalkotási kutatások alátámasztották a kisagy aktiválódását olyan kognitív feladatok során,

<sup>12</sup> YIP–AWOSIKA–LUI 2024.

<sup>13</sup> GRAYBIEL 2000.

<sup>14</sup> ROOSTAEI et al. 2014.

<sup>15</sup> FORTINO et al. 2022.

amelyek a memóriát, a nyelvet, az időészlelést, a végrehajtó funkciókat és az érzelmi feldolgozást egyaránt érintik.

4. *Gerincvelői reflexek.* A gerincvelő önállóan is képes reflexmozgások koordinálására, ugyanakkor ezek a mozgások befolyásolhatók a magasabb központok által. A magasabb központok működéséhez pedig elengedhetetlen az alacsonyabb szintű struktúrák bevonása.

A proprioceptív reflexek automatizált válaszmechanizmusok az izom- és ízületi helyzetérzékelésre. Ezek a reflexek kiemelkedő szerepet játszanak a testtartás, az egyensúly és a motoros kontroll fenntartásában.

A patellareflex mechanizmusa aktiválódik, amikor egy izom megnyúlik (például a térdízület flexiója esetén a m. quadriceps femoris). Az izomorsó érzékeli a nyújtást, és az afferens neuronok jelet küldenek a gerincvelőbe. Ezt követően a motoros neuronok aktiválódnak, ami az izom összehúzódását idézi elő. A reflex segíti az izomtónus fenntartását, védi az izmot a passzív megnyúlástól, hozzájárulva ezzel a testtartás megőrzéséhez és a mozgás koordinációjához.

Az Achilles-reflex mechanizmusa esetén a boka hátrafelé feszítése (például a talp megütése) esetén az izomorsó érzékeli az Achilles-ín megnyúlását, és jelet küld az afferens neuronokon keresztül a gerincvelőbe. A gerincvelőben a motoros neuronok aktiválódnak, amelyek összehúzódásra bírják a triceps surae-t. Ennek eredményeként a láb talpi része felfelé mozdul el, tehát plantárflexió jön létre. Ez a reflex lehetővé teszi a test stabilitásának fenntartását és védelmet nyújt a sérülések ellen.

A nociceptív reflexek a fájdalomérzékelésre épült védelmi reflexek. Amikor a nociceptorok (fájdalomérzékelő idegvégződések) aktiválódnak, a gerincvelő gyorsan reagál a fájdalmas ingerekre, automatikus visszahúzódást idézve elő a sérülés helyéről. Így ezek a reflexek gyors válaszokat biztosítanak a fájdalmas ingerek elkerülésére.

A keresztezett extensor reflex mechanizmusa védelmi reflex, amely a fájdalmas ingerekre adott automatikus válaszmechanizmus részeként jön létre. Amikor az egyik végtag visszahúzódik egy fájdalmas inger hatására, a másik végtag automatikusan kinyúlik, hogy megőrizze az egyensúlyt. A keresztezett extensor reflex ezáltal hozzájárul a test stabilitásának fenntartásához sérülés vagy fájdalom esetén.<sup>16</sup>

## A mozgástanulás folyamata

A tanulás folyamata különböző idegrendszeri mechanizmusok révén zajlik, amelyek közül a piramispálya és a korábban extrapiramidális rendszerként ismert, ma már bazálisganglion-rendszerként említett pályák más-más szerepet töltenek be. A motoros és kognitív tanulás szempontjából ezek a rendszerek eltérő típusú tudás kialakítását segítik elő, attól függően, hogy az egyes motoros képességek milyen mértékben igényelnek tudatos kontrollt, illetve automatizált mozgásformákat.

1. *A piramispálya-rendszer szerepe a tanulásban.* A piramispálya (corticospinalis pálya) a tudatos, akaratlagos motoros kontrollért felelős. A rendszeren keresztül történő tanulás a kezdeti,

<sup>16</sup> TARSOLY-MÉSZÁROS 2011.

tudatos erőfeszítéssel járó motoros tevékenységekhez kötődik, amikor az új mozgásformák megszerzése még aktív figyelmet és intenzív kognitív kontrollt igényel.

Az új motoros készségek elsajátítása során, különösen a tanulás kezdeti szakaszában a piramispálya intenzíven aktiválódik. Ekkor az agykéreg motoros területei irányítják a mozgásokat, amelyek tudatos figyelmet és kontrollt igényelnek. A mozgásokat ebben a fázisban részletesen megtervezve és szándékosan hajtjuk végre, például egy új sportág elsajátítása, új zenei hangszer kezelésének megtanulása, illetve az autóvezetés tanulása során. A piramispálya-rendszer jellemzően akkor aktív, amikor az egyén a mozgásokat szándékosan irányítja, és tudatosan figyel az egyes mozdulatok végrehajtására. Az agykéreg motoros területei közvetlen kapcsolatban állnak a gerincvelő motoros neuronjaival, lehetővé téve a precíz, finom motoros mozgásokat.

2. *A bazálisganglion-rendszer (extrapiramidális rendszer) szerepe a tanulásban.* A bazálisganglion-rendszer olyan motoros mechanizmusokat foglal magában, amelyek nem közvetlenül kapcsolódnak a tudatos mozgásirányításhoz, hanem inkább a mozgások finomhangolásában játszanak szerepet. Ennek a rendszernek a működése különösen akkor válik kihangsúlyozottá, amikor a mozgások automatizálódnak, és rutinszerűvé válnak.

Automatizálás és szokásos mozgásformák. Ahogy a tanulás halad előre, és a motoros készségek elsajátítása egyre inkább rutinszerűvé válik, a bazális ganglionok egyre nagyobb szerepben részesülnek. Ebben a szakaszban az egyes mozgások már nem igényelnek tudatos figyelmet, hanem azok automatikusan, az agy mélyebb struktúráin keresztül hajthatók végre. Ilyen automatizált mozgás lehet például a járás, a futás vagy egy jól begyakorolt hangszerjáték.

Finomhangolás és reflexek. A rendszer az automatizált mozgások stabilitásának biztosításában is szerepet játszik. A mozgások végrehajtásának folyamatosságát, időzítését és a reflexes válaszokat az extrapiramidális mechanizmusok biztosítják. A bazális ganglionok által szabályozott automatizmusok segítségével a motoros mozgások finomhangolódnak, és egyre inkább háttérbe szorul a tudatos kontroll.<sup>17</sup>

3. *A tanulás folyamata és a piramispálya, valamint a bazálisganglion-rendszer kölcsönhatása.* A tanulás során a piramispálya és bazálisganglion-rendszer közötti dinamikus egyensúly határozza meg a motoros képességek elsajátításának folyamatát. A tudatos és akaratlagos mozgások irányítása a piramispályán keresztül történik, míg a mozgások automatizálásakor, illetve rutinszerű végrehajtásuk során a bazálisganglion-rendszer kerül előtérbe.

Kezdeti szakasz – piramispálya-dominancia. A tanulás kezdetén, amikor az új motoros készségeket tudatosan kontrolláljuk, a piramispálya szerepe a meghatározó. Ilyenkor a motoros területek aktívan irányítják az egyes mozgásokat, miközben a mozgás intenzív figyelmet és erőfeszítést igényel.

Átmeneti szakasz – a piramispálya- és a bazálisganglion-rendszer együttműködése. A tanulás előrehaladtával a mozgásokat egyre inkább automatizáljuk, így a piramispálya-rendszer szerepe csökken, és az „extrapiramidális” mechanizmusok egyre inkább átvállalhatják a vezetői szerepet. Ebben a szakaszban az agy a mozgások finomhangolásában, stabilizálásában és a reflexes válaszokban egyaránt a bazálisganglion-rendszert alkalmazza.

<sup>17</sup> LEE–MUZIO 2023.

Érett szakasz – a bazálisganglion-rendszer dominanciája. A motoros készségek végleges elsajátítása után egyes mozgások már a bazálisganglion-rendszeren keresztül végrehajthatók. Az agy a mozgásokat automatikusan, tudatos figyelem nélkül végzi, miközben a bazálisganglion-rendszer biztosítja a sima, folyamatos és precíz mozgásokat.

## Motorikus képességek és azok fejlesztése

A test felépítése, a szervek és szervrendszerek működése, illetve a különböző külső hatásokra bekövetkező változások együttesen formálják a motorikus készségeket. A struktúra és a funkció között szoros kapcsolat vehető észre, ugyanis a test felépítése befolyásolja a funkciókat, míg a funkciók visszahatnak a struktúrára, fejlesztve azt, és lehetővé téve a magasabb szintű aktivitásokat. A motorikus képességek alapvető feltételei a mozgásos cselekvések elsajátításának és végrehajtásának, valamint a személyiség fontos részei. Ezek a képességek a veleszületett adottságokra építkeznek, és a gyakorlatok során fejlődnek. Didaktikai szempontból a motorikus képességek három fő csoportba sorolhatók:

1. *A kondicionális készségek* azok a képességek, amelyek a test állóképességét, gyorsaságát, erejét fejlesztik.

2. *A koordinációs készségek* lehetővé teszik a test részeinek, illetve a különböző érzékszervek (például szem és kéz vagy szem és láb) hatékony összehangolását mozgás közben. A koordináció a pontos és folyamatos mozgás végrehajtását segíti, és alapvető szerepe van a sportteljesítményben, a sérülésmegelőzésben, valamint a mindennapi tevékenységek elvégzésében egyaránt.

3. *Az izületi mozgékonyosság* az ízületek azon képessége, hogy adott irányban milyen mértékben képesek elmozdulni. Ez a mozgástartomány az ízületek felépítésétől, a körülöttük lévő szalagok, izmok rugalmasságától is függ. Az izületi mozgékonyosság fontos szerepet játszik a normál mozgás végrehajtásában, mivel lehetővé teszi a mozgásszabadságot.

Ezen képességek fejlesztése elengedhetetlen, ugyanis hiányuk vagy gyenge szintjük megnehezítheti a mozgások elsajátítását, ezért célszerű a motorikus képességek fejlesztését a mozgástanítás előtt elvégezni. A fizikai képességek fenntartásához fontos figyelembe venni, hogy a képességek jelentős mértékben fejleszthetők, és használatuk hiánya visszaféjlődéshez vezethet.<sup>18</sup>

## Kognitív képességek és azok fejlesztése

A kognitív képességek a gondolkodási folyamatok komplex rendszerét alkotják, és alapvető szerepet játszanak az egyén információfeldolgozásában, problémamegoldásában és interakcióiban. A következő főbb kategóriákba sorolhatók:

1. *Figyelem*. A figyelem képessége lehetővé teszi a környezeti ingerek szelektív észlelését. A figyelmi folyamatok közé tartozik a fókuszálás, a figyelem fenntartása és megosztása, amelyek elengedhetetlenek a hatékony információfeldolgozáshoz.

<sup>18</sup> KIRÁLY-SZAKÁLY 2011.

2. *Memória.* A memória képességei magukban foglalják az információk tárolását, visszeresését és felidézését. A memóriának különböző formái léteznek, beszélhetünk rövid távú és hosszú távú memóriáról, amelyek különböző szerepet játszanak a tanulási folyamatokban és a mindennapi életben.

3. *Gondolkodás.* A gondolkodási képességek közé tartozik a logikai érvelés, a következtetések levonása és a kreatív problémamegoldás, amelyek lehetővé teszik az információk elemzését és a döntések meghozatalát.

4. *Nyelvi képességek.* A nyelvi képességek magukban foglalják a nyelv megértését és használatát, ideértve a beszédet, az írást és a szövegértést. Ezek a képességek alapvetők a kommunikációhoz és a társas interakciókhoz.

5. *Percepció.* A percepció a környezeti ingerek érzékelésének és feldolgozásának folyamata. Magában foglalja az érzékek (látás, hallás, tapintás, ízlelés és szaglás) által gyűjtött információk értelmezését.

6. *Reakciókészség.* A reakciókészség a külső ingerekre adott válaszok gyorsaságát jelenti. Ez a képesség különösen fontos dinamikus környezetben, ahol az azonnali motoros válasz elengedhetetlen.

7. *Kreativitás.* A kreatív képességek lehetővé teszik új ötletek és megoldások generálását, valamint a meglévő fogalmak új megközelítésekkel való bővítését. A kreativitás nemcsak a művészetekben, hanem a tudományban és a mindennapi problémák megoldásában is kulcsszerepet játszik.

Ezek a kognitív képességek szorosan összefonódnak, és közösen járulnak hozzá az egyén általános teljesítményéhez és alkalmazkodóképességéhez. Kiemelkedő szerepet töltenek be a gyermekkori fejlődésben és a felnőttkori tanulási folyamatokban egyaránt. A képességek folyamatosan változnak az életkor előrehaladtával, és nélkülözhetetlenek a gyorsan változó környezethez való alkalmazkodás során. A globális társadalmi és gazdasági kihívások, mint a digitalizáció és az új vállalkozási formák, elengedhetlenné tették az élethosszig tartó tanulást, hogy lépést tudjunk tartani a modern világ gyors változásaival. Mindennapi életünk során a szociális intelligencia, az adaptív gondolkodás és az adatelemzési képességek egyre fontosabbá válnak. A figyelem és a koncentráció alapvető tényező a teljesítmény szempontjából. A kiemelkedő eredmények eléréséhez elengedhetetlen a mentális, fizikai és technikai tényezők harmonikus egyensúlya, különös figyelmet fordítva a fókuszált figyelemre és a teljesítmény kontrolljára. Ezen képességek hatékonyan fejleszthetők, és a fizikai aktivitás kedvezően befolyásolja ezeket. A mozgás következtében az idegsejtek összeköttetései gazdagodnak, ami javítja a tanulási folyamatokat, a memóriát és a kognitív funkciókat.<sup>19</sup>

A figyelem és a reakciókészség mérése különösen fontos, mivel ezek közvetlen hatással vannak a döntéshozatali folyamatokra. A gyors és pontos reakciók elengedhetetlenek különböző helyzetekben, legyen szó akár munkahelyi kihívásokról, akár mindennapi döntésekről. Így a figyelem fejlesztése és a reakciókészség mérése kulcsszerepet játszik a teljesítmény optimalizálásában.

<sup>19</sup> HORVÁTH 2024.

## A humán reakciókészség fogalma és mérése

A humán reakcióidő (human reaction time, HRT) az az időtartam, amely az inger alkalmazása és az arra adott válaszreakció között telik el. A reakcióidő alapvető tényező a döntéshozatali folyamatban, és fontos mérőszáma az információfeldolgozás sebességének, valamint az arra adott motoros válaszok hatékonyságának. A külső ingerekre adott gyors fizikai reakció, vagyis a gyors reakcióidő az emberi teljesítmény egyik legfontosabb mutatója. Bizonyos szakmákban, mint például pilóták, sportolók és gépjárművezetők körében a gyors reakcióidő elengedhetetlen a megfelelő teljesítményhez.

A reakciókészség folyamata az inger észlelésével kezdődik, amikor a szervezet különböző típusú ingereket (például fényjelzéseket, hangokat vagy mozgó objektumokat) érzékel. Az ingerek a szenzoros rendszeren keresztül, mint a látás, a hallás vagy a tapintás, továbbítódnak az agy megfelelő kérgi központjaiba. Miután az agy az ingerekhez kapcsolódó információkat feldolgozta, meghatározza az ingerre adott megfelelő választ. A reakcióképesség ennek a döntéshozatali folyamatnak a gyorsaságát is befolyásolja. A válasz meghatározása után az agy motoros utasításokat küld a megfelelő izmoknak, hogy végrehajtsák a szükséges mozgást.

A reakciókészség típusai az alábbiak:

1. *Egyszerű reakciókészség.* Az egyszerű reakciókészség esetében a válasz egyetlen, előre meghatározott cselekvést igényel. Például ha fényjelzésre az egyénnek azonnal meg kell nyomnia egy gombot. Ebben az esetben nincs szükség döntéshozatalra, mivel a válasz rögzített és automatikusan végrehajtandó.

2. *Választásos (komplex) reakciókészség.* A választásos reakciókészség esetén az egyénnek több lehetséges választ kell mérlegelnie, az adott ingerre a leginkább megfelelő választ adnia. Például egy sportolónak nemcsak azt kell eldöntenie, hogy mikor reagáljon, hanem azt is, hogyan reagáljon a változó helyzetekre. Egy futballista például a labdára különböző irányokban is reagálhat, attól függően, hogy mi történik a játékban. Ebben az esetben a gyors döntéshozatal kulcsfontosságú, mivel a helyes válasz kiválasztása mindig az adott szituációtól függ.<sup>20</sup>

A humán reakciókészség mérésére három alapvető tesztet alkalmaznak: egyszerű, felismerési és választási. Az egyszerű reakcióidő tesztje során egyetlen inger és egy válasz figyelhető meg, például egy fényforrás észlelése vagy egy hangra adott reakció. A felismerési tesztben a válaszidőt mérik előre meghatározott ingerekre, miközben a meghatározottól eltérő ingereket figyelmen kívül kell hagyni. Ezzel szemben a választási tesztekben a mérés több inger alapján történik, és a válaszadó személynek több lehetséges választ mérlegelve kell döntenie.

A gépjárművezetők reakcióidőjének mérésére számos különböző módszert fejlesztettek ki, például virtuálisvalóság-alapú reakcióidő-mérést, a kognitív funkció számítógép által vezérelt mérését és testre szerelhető reakciómérő rendszereket. Az utóbbiak jellemzően mozgásérzékelőket használnak, amelyeket a válaszadó személyre helyeznek, ezzel monitorozva az egyén motoros válaszát az ingerekre. A három leggyakrabban alkalmazott

<sup>20</sup> MELEGH 2004.

HRT-mérési módszer közül a virtuális valóság és a számítógépes alapú rendszerek a legelterjedtebbek. Azonban ezeknek a rendszereknek a hátránya nagy méretük, költségük, valamint hogy környezeti tényezők hatására gyakran pontatlanok lehetnek.<sup>21</sup>

## A BlazePod és a Flash Reflex Training

A BlazePod és a Flash Reflex Training nemcsak innovatív edzésélményt, hanem a kognitív és a motoros funkciók hatékony fejlesztését is elősegíti. A BlazePod interaktív edzésszköz, amely fénylogikákat használ a felhasználók reakcióidejének és koordinációjának fejlesztésére. Az interaktív LED-podok segítségével dinamikus és szórakoztató edzésformákat biztosít, amelyek célja a reakcióidő, a koordináció, valamint a kondicionális képességek fejlesztése.<sup>22</sup> Az eszköz telepítése és használata egyszerű, az okostelefonon keresztül vezérelhető alkalmazás széleskörűen testre szabható lehetőségeket kínál. A felhasználók különböző fénylogikákat választhatnak, saját igényeiknek megfelelően. Az alkalmazásban számos edzési paraméter is beállítható, például az edzés időtartama, a gyakorlatok sorrendje, az intenzitás és a pihenőidő egyaránt.

A BlazePod-tréning előnyei az alábbiak lehetnek:

1. *A kognitív és motoros funkciók integrált fejlesztése.* A BlazePod lehetőséget biztosít a kognitív és motoros funkciók összehangolt fejlesztésére, mivel a vizuális ingerekre adott reakció során a sportolók nemcsak fizikai, hanem mentális terhelést is tapasztalnak. Az interaktív jelzések gyors feldolgozása és a megfelelő mozgás kivitelezése elősegíti az agy plaszticitását, valamint javítja a vizuális és motoros információfeldolgozást.

2. *A reakcióidő és az agilitás növelése.* A rendszer által generált változatos és kiszámíthatatlan vizuális ingerek hatására a felhasználók reakcióideje jelentősen csökkenhet, és agilitásuk növekedhet. Az edzés során alkalmazott intervallumok, gyors mozgások és változatos irányú mozgásminták javíthatják a sportolók döntéshozatali képességét és a dinamikus mozgáskoordinációt.<sup>23</sup>

3. *A motiváció és az edzésintenzitás fokozása.* Az interaktív és játékos jellegű edzésprogramok hozzájárulnak a sportolók motivációjának növeléséhez. A BlazePod-tréning során a felhasználók azonnal visszajelzést kaphatnak teljesítményükről, folyamatosan láthatják fejlődésüket, ami pozitív pszichológiai hatást gyakorol rájuk, és növeli az edzésintenzitást. A technológia alkalmazása ezen a területen hozzájárulhat a monoton edzés módszerek elkerüléséhez, ezért csökkenti a kiégés kockázatát.<sup>24</sup>

4. *Alkalmazhatóság különböző edzésformákban.* A rendszer rugalmasan integrálható különböző edzésprogramokba, legyen szó küzdősportokról, csapatsportokról vagy egyéni sportágakról. Lehetőséget biztosít az edzők számára, hogy egyéni vagy csoportos gyakorlatokat alakítsanak ki, amelyek célzottan fejlesztik a sportolók reakcióidejét és koordinációját. Sokoldalúsága miatt a BlazePod-tréning könnyen adaptálható a különféle sportágak egyedi igényeihez.

<sup>21</sup> ABBASI et al. 2017.

<sup>22</sup> BRYAN–HAYNES 2024.

<sup>23</sup> SHEPPARD–YOUNG 2006.

<sup>24</sup> BlazePod Reaction Lights Training for Agility and Reflex Workouts [é. n.].

## A fény hatása az idegrendszerre

A fény mint edzésszerszöz kiemelkedő szerepet játszik az idegrendszer teljesítményének javításában. Kutatások alátámasztják, hogy a fény intenzitásának és spektrumának alkalmazása jelentős hatással van a kognitív és motoros teljesítményre, különösen a reakcióidőre és a koncentrációra. Az emberi idegrendszer erőteljesen reagál a különböző fényingerekre, mivel azok közvetlenül befolyásolják az agy éberségét, aktivitását és a kognitív funkciókat. A fény erőssége és színe egyaránt fokozhatja a figyelmet, mivel az agy az intenzív fényingerekre gyorsabban reagál.

1. *A megvilágítás hatásai a reakcióidőre és a figyelemre.* Felfedezték, hogy a magasabb fényerő jelentősen növelte a figyelmet és az éberséget, a legnagyobb koncentrációt 500 lux mellett mérték. További kutatások is alátámasztják, hogy a fokozott megvilágítás javítja a éberséget és a folyamatos figyelmet megkövetelő feladatok teljesítményét, még alváshiányos állapotban is. A BlazePod esetében a fényerősség általában 200 és 1000 lux között állítható, így lehetőséget biztosít a felhasználók számára, hogy a fény intenzitását egyéni igényeiknek megfelelően állítsák be. Ez a testreszabhatóság kulcsfontosságú, mivel lehetővé teszi, hogy a felhasználók fokozatosan növeljék a fényerősséget az edzés előrehaladtával, és beállítsák az optimális fényerősséget a megfelelő koncentrációhoz.

2. *A kék fény hatása.* Több kutatás is rámutat a kék fény kognitív funkciókra gyakorolt pozitív hatásaira. Például Motamedzadeh és munkatársai igazolták, hogy a kézzel dúsított fehér fény jelentősen fokozta a munkamemóriát és a fenntartott figyelmet, miközben csökkentette a feladatok során elkövetett hibákat. A BlazePod eszköze kétfajta kék elemet is alkalmaz a fénylogikák során, így segítheti a választásos reakcióidő edzését a kék fény keresése. Továbbá segíthetnek a felhasználóknak abban, hogy jobban összpontosítsanak a feladatokra, és hatékonyabban szűrjék a zavaró ingereket. Ez különösen fontos lehet olyan helyzetekben, amikor gyors döntéshozatalra van szükség.<sup>25</sup>

## A PÁV 1

A PÁV 1 a közlekedési szektorban, különösen a megkülönböztetett gépjárművek vezetésére (mentő, tűzoltó és rendőrségi járművek) kijelölt személyek alkalmasságának meghatározására szolgáló komplex vizsgálat. A hatályos közúti járművezetők pályaalkalmassági vizsgálatáról szóló 444/2017. (XII. 27.) Korm. rendelet alapján „a pályaalkalmassági vizsgálat célja annak megállapítása, hogy a gépjárművezető

- a) rendelkezik-e azokkal az egyéni pszichológiai jellemzőkkel, amelyek szükségesek a biztonságos járművezetési tevékenységhez, a közlekedési helyzetekhez való alkalmazkodáshoz, a járművezetés közben jelentkező terhelés elviseléséhez,
- b) rendelkezik-e a jármű biztonságos vezetéséhez szükséges észlelési, döntési és cselekvési képességgel,
- c) képes-e elsajátítani a járművezetéshez szükséges ismereteket és készségeket.”

<sup>25</sup> GOLMOHAMMADI et al. 2021.

A PÁV 1 több lépcsőben történik. Az alkalmasság megállapítása érdekében a következő szempontok szerint zajlik:

1. *Pszichológiai alkalmasság.* A vizsgálat során a jelöltet különböző pszichológiai teszteknek vetik alá, amelyek a kognitív funkciókat, a figyelmet, a problémamegoldó képességet, valamint a döntéshozatali képességeket mérik. A cél annak meghatározása, hogy a jelölt képes-e gyors és pontos döntéseket meghozni. A tesztek kiterjednek a reakcióidő, valamint a figyelem fenntartásának és a helyes választások gyors meghozatalának mérésére is.

2. *Stressztűrés és a krízishelyzetek kezelése.* A megkülönböztetett járművek vezetése különösen nagy felelősséggel jár, ezért a vizsgálat során a jelölteknek különböző stresszhelyzetekben kell teljesíteniük. A tesztelés során a vizsgált személyeket olyan szimulált helyzetekbe helyezik, amelyek célja annak meghatározása, hogy képesek-e fenntartani a mentális stabilitást és a helyes döntéshozatali képességet pszichésen megterhelő körülmények között.

3. *Reakciókészség-mérés.* A PÁV 1 során különös figyelmet kap a reakciókészség értékelése, mivel a vezetés során elengedhetetlen a gyors fizikai reakció és a precíz motoros koordináció. A tesztek célja annak felmérése, hogy a jelölt képes-e gyorsan reagálni vizuális vagy auditív ingerekre, és hogy az egyes reakciók pontosak és megfelelők-e.

4. *Fizikai alkalmasság.* A vizsgálat során a fizikai alkalmasság is szerepet kap. A látás, a hallás és az általános fizikai állapot vizsgálata alapvető fontosságú ahhoz, hogy a jelölt a hosszú távú, fáradsággal járó vezetési feladatokat biztonságosan végezhesse el.

## Az empirikus kutatás célkitűzései és tartalma

A kutatás újdonságot képvisel a közlekedésbiztonsági és mentőszolgálatokkal kapcsolatos tudományos diskurzusban, mivel a BlazePod alkalmazása a járművezetők reakcióképességének fejlesztésére eddig nem volt széleskörűen vizsgálva, sem Magyarországon, sem Európában. A BlazePod eszköz innovatív jellege lehetőséget ad arra, hogy a járművezetők reakcióképességét valós időben mérjük és fejlesszük egyaránt.

A kutatás keretében a Nógrád Vármegyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság, az Országos Mentőszolgálat Salgótarjáni Mentőállomás és az MVM Paksi Atomerőmű – Atomerőmű Tűzoltóság ( $n = 36$ ) tűzoltó/mentő gépjárművezető állományának 3 hónapos, heti 1 alkalmas fejlesztését végeztük. A résztvevőknek a BlazePod reakciófejlesztő eszközzel 3 progresszíven változó feladatot kellett végrehajtaniuk. Az elemzésekhez a Microsoft Excel programot használtuk, a fejlesztett és a kontrollcsoport fejlődésének összehasonlításához t-próbát alkalmaztunk ( $\alpha = 0,05$ ), valamint elemeztük a fejlesztett csoport egyéni fejlődését.

Tanulmányunk kapcsolódik a közlekedési balesetek megelőzésére, illetve a járművezetők reakcióidejének javítására irányuló korábbi kutatásokhoz, azonban új módszertani alapokat kínál a reakcióidő folyamatos, dinamikus mérésére és javítására.

## A kutatás célja

Az empirikus kutatás elsődleges célja egy olyan fejlesztőprogram kidolgozása és hatékonyságának vizsgálata volt, amely hozzájárulhat a megkülönböztetett gépjárművezetők reakcióidejének

csökkentéséhez. A program a BlazePod alkalmazásával valósult meg, amelyet Magyarországon és Európában először teszteltünk katasztrófavédelmi és mentőszolgálati területen. Célunk annak meghatározása volt, hogy a fejlesztőprogram milyen mértékben járulhat hozzá a járművezetők reakcióidejének javításához. A vizsgálat gyakorlati haszna abban rejlik, hogy a járművezetők számára objektív, mérhető és fejleszthető módon lehetőség nyílik készségeik javítására.

## A kutatás tárgya

A kutatás tárgya a megkülönböztető jelzést használó járművek vezetői reakcióidejének fejlesztése, amely során a BlazePod-technológiával kivitelezett tréningprogram hatékonyságát vizsgáljuk. A vizsgált jelenség lényege annak feltárása, hogy a speciális, katasztrófavédelmi és mentőszolgálati környezetben dolgozó járművezetők reakcióidejének fejlesztése milyen mértékben valósítható meg. A vészfékezési távolság csökkenését gyakorlati példaként, számított paraméterek alapján szemléltetjük.

A szerzők olyan jelenségeket vizsgáltak, mint a kognitív és a motoros reakcióidő, az átlagos reakcióidő, valamint a pontos és a pontatlan reakciók egy előre meghatározott ingerre, amelyek kulcsfontosságúak a kritikus helyzetek hatékony kezelésében. A vizsgálat három hónapon át tartó, heti egy alkalommal végzett tréningprogramot foglal magába.

A szerzők különös figyelmet fordítottak arra is, hogy a fejlesztési protokoll ne akadályozza a mentési tevékenységeket, és ne terhelje meg túlságosan a szolgálatban lévő egyént. Ennek érdekében a tréningprotokoll három, egymást követő, egyperces edzésintervallumot tartalmaz, biztosítva ezzel a hatékonyság optimalizálását és a szolgálat zavartalan működését.

## A kutatás hipotézisei

A kutatásban több hipotézis felállításával és ezek igazolásával vagy cáfolásával szeretnénk következtetni a korábbiakban taglalt kérdésekre vonatkozó válaszokra.

(H1) A fejlesztőprogram jelentős mértékben csökkenti a járművezetők reakcióidejét a tréning előtti állapothoz képest.

(H1<sub>o</sub>) A fejlesztőprogram nem okoz statisztikailag szignifikáns változást a járművezetők reakcióidejében.

(H2) A fejlesztőprogramban részt vevő csoport reakcióideje szignifikánsan jobb lesz, mint egy kontrollcsoporté, amely nem vesz részt a programban.

(H2<sub>o</sub>) Nincs szignifikáns különbség a fejlesztőprogramban részt vevő csoport és a kontrollcsoport reakcióideje között.

(H3) A tréning hatékonysága nem függ lényegesen a járművezetők életkorától.

(H3<sub>o</sub>) A járművezetők életkora szignifikáns hatással van a tréning által elért reakcióidő-javulás mértékére.

(H4) A fejlesztőprogram hatékonysága az eltérő szolgálati csoportok (például tűzoltó/mentő) között nem mutat lényegi különbséget.

(H4<sub>o</sub>) A szolgálati csoport szignifikáns különbséget eredményez a fejlesztőprogram által elért reakcióidő-javulás mértékében.

(H5) A program során mért reakcióidő-javulás mértéke a különböző, progresszíven növekvő nehézségű feladatok esetén is hasonló trendet mutat.

(H5<sub>o</sub>) A reakcióidő-javulás mértéke nem mutat szignifikáns eltérést a különböző nehézségű feladatok között.

(H6) Az egyéni fejlődéseket tekintetbe véve az egyén helyes ütéseinek száma növekedni fog az első mért alkalomhoz képest, vagyis javul a teljesítménye.

(H6<sub>o</sub>) Az egyéni fejlődéseket tekintetbe véve az egyén helyes ütéseinek száma nem változik szignifikánsan, vagy akár csökkenhet az első mért alkalomhoz képest.

(H7) Az egyén hibás ütéseinek száma csökkenni fog az első mért alkalomhoz képest, tehát kevesebb hibát fog követni.

(H7<sub>o</sub>) Az egyén hibás ütéseinek száma nem változik szignifikánsan, vagy akár növekedhet az első mért alkalomhoz képest.

## A minta és a mintavétel tartalma

Az empirikus kutatás keretében a Nógrád Vármegyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság, az Országos Mentőszolgálat Salgótarjáni Mentőállomás és a MVM Paksi Atomerőmű – Atomerőmű Tűzoltóság 35 (n = 35) tűzoltó/mentő gépjárművezető állományát vizsgáltuk. A fejlesztett csoport eredményeit egy 18 fős kontrollcsoporttal vetettük össze, amely 9 mentőből és 9 tűzoltóból állt.

*1. Beválogatási kritériumok.* A mintavétel során az alábbi kritériumokat alkalmaztuk a résztvevők kiválasztására:

- A vizsgálatban kizárólag tűzoltók/mentők vehettek részt, akik napi munkájuk során megkülönböztetett járműveket vezethetnek, és akik a speciális mentési körülmények között is magas fokú reakciókészséget igényelnek.
- A Kormányrendelet (444/2017. [XII. 27.]) előírásai alapján a kutatásba kizárólag olyan járművezetőket vontunk be, akik megfeleltek a PÁV 1 vizsgálaton, és legalább fél éve érvényes minősítéssel rendelkeznek.
- A részvétel feltétele volt, hogy az alanyok legalább egy év munkatapasztalattal rendelkezzenek tűzoltó-/mentőfeladatok ellátásában, biztosítva ezzel a szükséges szakmai gyakorlatot és a munkakörrel kapcsolatos rutinszerű tapasztalatot.
- A kutatás megkezdése előtt a belügyminisztériumi engedély alapfeltétel volt, amely biztosította, hogy a vizsgálat a szükséges jogi és etikai előírásoknak megfelelően valósuljon meg.
- A vizsgálatban kizárólag olyan alanyok vehettek részt, akiknek az elmúlt hat hónapban nem volt részük jelentős munkarendi változásban, illetve nem vállaltak olyan külső feladatokat, amelyek a fejlesztőprogramban való rendszeres részvételt akadályozták volna.

- Az alanyoknak vállalniuk kellett a három hónapos, heti egy alkalmas fejlesztőprogramban való részvételt, valamint beleegyezésüket adniuk a vizsgálat során rögzített adatok elemzéséhez.

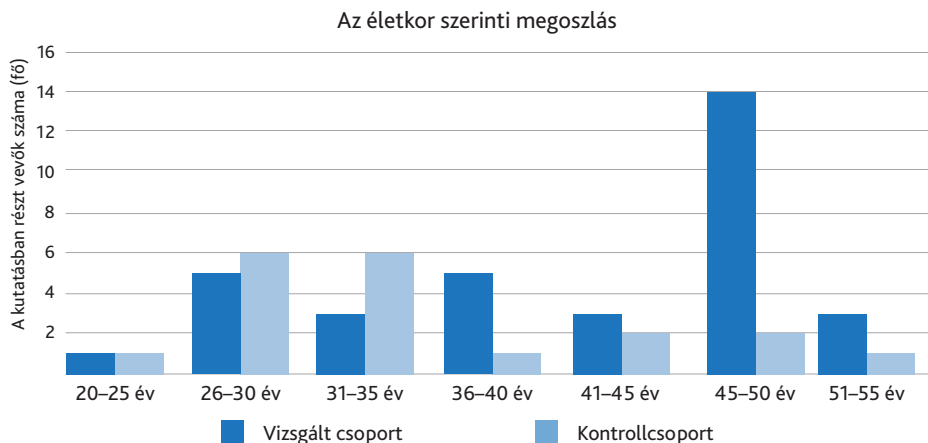
2. *Kizáró tényezők.* Amennyiben a résztvevő valamely fent említett kritériumnak nem felelt meg, a kutatásban nem vehetett részt, nem volt a vizsgálati alanyok közé sorolható. Továbbá abban az esetben is az alany vizsgálatból való kivonása mellett döntöttünk, amennyiben nem vett részt a fejlesztés keretében tartott alkalmak legalább 75%-án, tehát a 12 darabból legalább 9 fejlesztésen. A fejlesztés és a visszamérés során minden alany részt vett a vizsgálatban, és egyiküket sem kellett kizárni. Ennek eredményeként a vizsgálat során mind a 35 alany adatait és eredményeit fel tudtuk használni.

## A kutatás módszereinek bemutatása

1. *Kutatási engedélyek.* A kutatás keretében végzett mérések megkezdéséhez több hivatalos engedély beszerzése vált szükségessé. A Nógrád Vármegyei Katasztrófavédelmi Igazgatóságon végzett mérésekhez a Belügyminisztérium jóváhagyása és kutatásmódszertani engedélye elengedhetetlen volt. Továbbá az érintett szervnél történő személyes egyeztetésre és a vezető által jóváhagyott szándéknyilatkozat benyújtására volt szükség. Az Országos Mentőszolgálat Salgótarjáni Mentőállomásán végzett mérések esetében az Észak-magyarországi Regionális Mentőszervezet igazgatójának engedélye, valamint az állomány vezetőjének jóváhagyása kötelező volt. Az MVM Paksi Atomerőműben folytatott mérésekhez az atomerőmű tűzoltóparancsnokának engedélyét, valamint egy előírt képzési modul sikeres teljesítését követően kaptunk engedélyt. Ezek az intézkedések biztosították, hogy kutatási tevékenységünk minden biztonsági és szervezeti előírásnak maradéktalanul megfeleljen.

A mérési időszak 2024. május 6. és 2024. augusztus 6. között zajlott, amely alatt a résztvevők heti egy alkalommal vettek részt a fejlesztési programban. A feladatokat minden esetben a BlazePod eszköz használatával végezték el, biztosítva a standardizált körülményeket. A kontrollcsoport nem vett részt a fejlesztési programban, kizárólag a mérési időpontokban teljesítette a feladatokat.

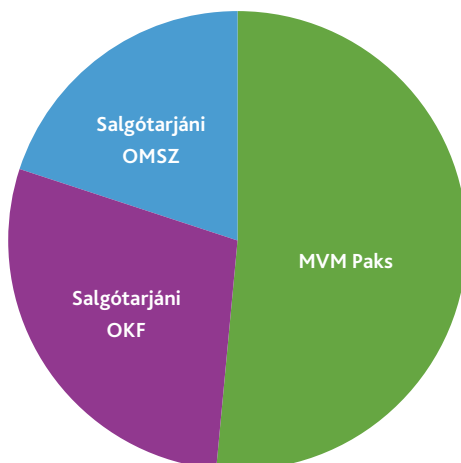
2. *Demográfia.* A vizsgálati mintát tekintve a fejlesztett csoport 35 főből, míg a kontrollcsoport 18 főből állt (1. ábra). A kutatásunkban részt vevők életkor szerinti megoszlása egyenetlen mind a vizsgált, mind a kontrollcsoport esetében. A legnépesebb korcsoport a 45–50 éveseké volt, ahol a vizsgált csoportban 14 fő szerepelt, míg a kontrollcsoportban mindössze 2. Ezzel szemben a fiatalabb és idősebb korosztályokban ennél jóval kevesebb résztvevő volt. Így a 20–25 évesek és az 51–55 évesek között egyaránt alacsony volt a részvétel mindkét csoportban. A kontrollcsoport eloszlása valamivel kiegyenlítettebbnek tűnik, de összességében az idősebb korosztályok itt is alulreprezentáltak.



1. ábra: A kutatásban részt vevők száma (N = 53)

Forrás: a szerzők szerkesztése

A szolgálati hely szempontjából a legtöbben az MVM Paks állományából vettek részt a kutatásunkban, ők teszik ki a minta több mint felét. A másik két csoport részaránya kisebb, a Katasztrófavédelmi Igazgatóság állományából nagyjából egyharmad, míg az OMSZ-ból a résztvevők egyötöde származott (2. ábra).



2. ábra: A fejlesztett csoport szolgálati hely szerinti megoszlása (N = 35)

Forrás: a szerzők szerkesztése

A legnagyobb arányban tűzoltó gépjárművezetők vettek részt a kutatásban, ők a teljes minta közel kétharmadát adják. A mentő gépjárművezetők és a vegyes (tűzoltó és mentő gépjárművet egyaránt vezető) beosztású résztvevők létszáma ennél lényegesen alacsonyabb (3. ábra). Előbbiek a kutatás alanyainak mintegy egyötödét, míg utóbbiak további egynegyedét adták. Ez a különbség nem befolyásolja számottevő mértékben az eredményeket, hiszen a mérésbe bevont munkakörök sajátosságai rendkívül hasonlóak.



3. ábra: A fejlesztett csoport beosztás szerinti megoszlása (N = 35)

Forrás: a szerzők szerkesztése

A munkatapasztalat szerinti eloszlás vizsgálata során a résztvevők száma nem egyenletesen oszlik meg a különböző tapasztalati kategóriák között. A legtöbben a 1–5 éves és a 21–25 éves tapasztalattal rendelkezők közül kerültek ki (egyenként 8 fő). A 11–15 éves munkatapasztalattal rendelkezők csoportja szintén jelentős arányt képvisel (7 fő).

3. A kutatás helyszínei. A fejlesztett csoport méréseit minden héten egy alkalommal, három helyszínen végeztük el. A Paksi Atomerőmű – Atomerőmű Tűzoltóságon az adott csoport szolgálati napján, a reggel 7 órás edzésfoglalkozásba építve zajlott a mérés. Az Országos Mentőszolgálat Salgótarjáni Mentőállomásán előre egyeztetett időpontban, amely során a gépjárművezetők önállóan jelentek meg a vizsgálaton. A Nógrád Vármegyei Katasztrófavédelmi Igazgatóságon pedig az adott csoport szolgálati ideje alatt végeztük el a méréseket.

A kontrollcsoport ezzel szemben az első mérés után három hónapig nem vett részt fejlesztésben. A harmadik hónap elteltével ismét megmértük az értékeit.

4. A felmérés tartalma. A vizsgálat során a résztvevők teljesítményét három különböző, fokozatosan nehezedő feladattal értékeltük. Az adatokat a Microsoft Excel program segítségével elemeztük, a statisztikai kiértékeléshez pedig párosított t-próbát és egytényezős

varianciaanalízist (ANOVA) alkalmaztunk. A fejlesztett és a kontrollcsoport fejlődésének összehasonlításán túl a fejlesztett csoport egyéni teljesítményváltozását külön is vizsgáltuk.

A BlazePod eszközzel végzett vizsgálat lehetőséget biztosított arra, hogy objektív módon mérjük a résztvevők reakcióidejének változását. A t-próba alkalmazása lehetővé tette a fejlesztett és a kontrollcsoport közötti különbségek statisztikai szignifikanciájának meghatározását, míg az ANOVA segítségével a különböző nehézségű feladatok és szolgálati csoportok teljesítménykülönbségeit elemeztük.

5. *A kutatási adatok rögzítése.* Az adatok előzetes rögzítése során a résztvevők személyes és szakmai adatait regisztráltuk. Születési dátumuk alapján számítottuk ki az életkorukat, továbbá meghatároztuk, hogy az adott személy mentő vagy tűzoltó (esetleg mindkettő) munkakörben tevékenykedik, és mióta végzi ezt. Emellett rögzítettük, hogy rendelkezik-e PÁV 1 vizsgálattal, illetve ha igen, hány éve érvényes az említett vizsgálat. Az anonimitás érdekében minden egyénhez egyedi kódszámot rendeltünk. Az így összegyűjtött információk szerepet játszottak a későbbi statisztikai elemzések során.

A vizsgálat során végrehajtandó feladatok:

1. *feladat – Egyszerű reakcióidő.* A kutatás első feladata az egyszerű reakcióidő és a kiszámíthatatlan ingerekhez való gyors alkalmazkodás fejlesztését célozta meg. A feladat végrehajtása során a résztvevők ülő helyzetben helyezkedtek el egy asztal előtt, amelyre hat BlazePodot helyeztünk el 2×3-as elrendezésben. A bóják világítási rendszerrel rendelkeztek, amely véletlenszerű („Random”) fénylogika alapján generálta a felvillanásokat (4. ábra).



4. ábra: BlazePod, egyszerű reakcióidő-fejlesztő feladat

Forrás: a szerzők szerkesztése

A feladat célja, hogy a résztvevő a hat bója közül a felvillanó bóját érintse meg a lehető leggyorsabban a meghatározott időkereten belül. A bal oldalon elhelyezett három bóját kizárólag bal kézzel, míg a jobb oldalon található három bóját kizárólag jobb kézzel érinthette. Amennyiben

a résztvevő helytelen kézzel érintette meg a világító bóját, az érintés érvénytelennek minősült, az alkalmazás hiába rögzítette azt.

Az alkalmazás számos paramétert rögzített a feladat végrehajtása során. Az egyik legfontosabb az átlagos reakcióidő volt, amely azt mutatta, hogy a résztvevő a helyes bójákat átlagosan hány ezredmásodperc alatt érintette meg. Továbbá az egy percen belül végrehajtott helyes érintések száma, valamint azoknak az eseteknek a száma, amikor a résztvevő a meghatározott 0,75 másodperces időkorláton belül nem tudta végrehajtani a helyes érintést.

A feladat nem csupán az egyszerű reakcióidőt mérte, hanem a résztvevő kiszámíthatatlan ingerekhez való gyors alkalmazkodási képességét is fejlesztette. Mivel a felvillanó bója helyzete minden alkalommal véletlenszerűen változott, a résztvevőnek folyamatos készenlétben kellett lennie, ezáltal a feladat elősegítette a kognitív és motoros válaszok együttes fejlesztését.

**2. feladat – Választásos reakcióidő.** A fejlesztési folyamat második feladata a választásos reakcióidő mérésére, valamint a döntéshozatali képességek fejlesztésére irányult. A beállítási paraméterek megegyeztek az első feladatával: a résztvevők ülő helyzetben helyezkedtek el az asztal előtt, ahol hat bója volt elhelyezve 2×3-as elrendezésben. A bóják azonban különböző színekben világítottak, és a feladat célja az volt, hogy a résztvevő a lehető leggyorsabban kiválassza a kéken világító bóját, miközben az elterelő színek egyikét sem érinti.

Az elterelő színek négy különböző színben jelentek meg, és az öt helytelen bója mindegyike világított (5. ábra). A helyes szín megérintésére egy másodperces időkorlát állt rendelkezésre. Ha a résztvevő elterelő színű bóját érintett meg, az hibás érintésnek minősült. Továbbá hibás érintésnek minősült az is, ha a megfelelő színt helytelen végtaggal érintette, tehát a jobb három bója valamilyen világító kék színt bal kézzel.

Az alkalmazás az átlag reakcióidő mellett rögzítette a helyes érintések számát, azokat az eseteket, amikor a résztvevő az egy másodperces időkorláton belül nem ütött le bóját, és a hibás érintések számát, azaz hogy hányszor ütött elterelő színű bójára.

A feladat hozzájárult a választásos reakcióidő fejlesztéséhez és a kognitív teljesítmény növeléséhez, különösen a gyors ingerfeldolgozás, a szelektív figyelem és a döntési folyamatok fejlesztése révén.



5. ábra: BlazePod, választásos reakcióidő-fejlesztő feladat

Forrás: a szerzők szerkesztése

3. feladat – Választásos reakcióidő két fókuszszínnel. A harmadik feladat során 4 BlazePodot helyeztünk el a járművezetők előtt és a második feladathoz hasonlóan a Focus fénylogikát alkalmaztuk. A bójákat bármelyik kezükkel érinthették a járművezetők, azonban mindkét kezét az asztal felett kellett tartani. A kihelyezett bóják közül mindig három az elterelő színek valamelyikén világított. Ezek négy különböző színben jelentek meg, és voltak közöttük olyan árnyalatok is, amelyek nagyon hasonlítottak a fókuszszínekhez: a világoskék és a narancssárga (6. ábra). A feladat során a résztvevő számára két lehetséges fókuszszín volt kijelölve (sötétkék és piros), amelyek egyszerre soha nem világítottak; adott kombinációnál csak az egyik jelenhetett meg. A feladat az volt, hogy az elterelő ingerek között gyorsan és pontosan megtalálja azt a fókuszszínt, amely a parancs szerint sötétkék vagy piros volt. A választásra 1 másodperc állt rendelkezésre, így a feladat gyorsaságot és precíz szűrési képességet követelt meg. Az alkalmazás ugyanazokat az adatokat rögzítette, mint a második feladat esetén: az átlagos reakcióidőt, a helyes érintések számát, azokat az eseteket, amikor a résztvevő a megadott időn belül nem reagált, valamint a hibás érintések számát, azaz amikor elterelő színű podot érintett meg a kijelölt helyett. Ez a gyakorlat tehát nemcsak a gyors ingerfeldolgozást és a szelektív figyelmet fejlesztését célozta meg, hanem a két különböző parancs egyidejű feldolgozására és a hasonló ingerek közötti pontos differenciálásra is hangsúlyt fektetett, ami jelentősen nagyobb kognitív terhelést jelentett a korábbi feladathoz képest.



6. ábra: BlazePod, választásosreakcióidő-fejlesztő feladat piros (bal oldal) és sötétkék (jobb oldal) fókuszszínnel

Forrás: a szerzők szerkesztése

## Következtetések

A központi idegrendszer kulcsszerepet játszik a reflexek, illetve a tudatos mozgások irányításában, és alapvetően befolyásolja a reakciókészséget. A reakciókészség gyorsasága és hatékonysága nemcsak a reflexek automatikus válaszain, hanem a kognitív feldolgozáson is múlik, amely lehetővé teszi a bonyolultabb ingerekre való reagálást. A központi idegrendszer integrálja az érzékszervi információkat és a motoros parancsokat, így az emberek képesek gyorsan alkalmazkodni a változó környezeti feltételekhez. Ezzel a központi idegrendszer fejlettsége

közvetlen hatással van az emberi teljesítményre, különösen az olyan komplex helyzetekben, ahol a reakciókészségnek kritikus jelentősége van. A humán reakcióidő az az idő, amely az inger alkalmazása és az arra adott válaszreakció között telik el. A reakcióidő alapvető tényező a döntéshozatali folyamatban, és fontos mérőszáma az információfeldolgozás sebességének, valamint az arra adott motoros válaszok hatékonyságának. A külső ingerekre adott gyors fizikai reakció, vagyis a gyors reakcióidő az emberi teljesítmény egyik legfontosabb mutatója. Bizonyos szakmákban, mint például pilóták, sportolók és gépjárművezetők körében a gyors reakcióidő elengedhetetlen a megfelelő teljesítményhez.

A PÁV 1 célja, hogy a közlekedés résztvevői, elsősorban a megkülönböztetett gépjárművek (mentő, tűzoltó és rendőrségi járművek) vezetői rendelkezzenek azon képességekkel, amelyek szükségesek sürgősségi helyzetekben a közlekedési feladatok hatékony és biztonságos végrehajtásához. Azonban ez a vizsgálat csak időszakos, tehát nem biztosít folyamatos lehetőséget a reakcióidő monitorozására és fejlesztésére. Erre a problémára adhat választ a BlazePod, amely a reakcióidő mérését és fejlesztését végzi, így biztosítva, hogy a járművezetők készségei folyamatosan fejlődjenek. Az eddigi kutatások szerint a gyors döntéshozatal és a vizuális ingerekre adott reakciókészség fejleszthető különböző módszerekkel, beleértve a szimulációs tréningeket, a pszichomotoros teszteket és az interaktív reakcióidő-fejlesztő eszközöket, amelyek közé a BlazePod is tartozik. Mivel a járművezetők számára nincs eszköz a reakcióidő utánkövetésére és fejlesztésére, jelen tanulmány szerzőinek célja egy fejlesztőprogram kidolgozása és eredményességének értékelése volt. Magyarországon és Európában a szerzők először vizsgálták a BlazePod alkalmazását katasztrófavédelmi és sürgősségi egészségügyi (mentőszolgálati) területen.

A szerzők cikkének második része empirikus kutatásuk eredményeinek elemzését és összefoglalását tartalmazza.

## Felhasznált irodalom

- ABBASI-KESBI, Reza – MEMARZADEH-TEHRAN, Hamidreza – DEEN, M. Jamal (2017): Technique to Estimate Human Reaction Time Based on Visual Perception. *Healthcare Technology Letters*, 4(2), 73–77. Online: <https://www.doi.org/10.1049/htl.2016.0106>
- BEREK Tamás – FÖLDI László – PADÁNYI József (2020): The Structure and Main Elements of Disaster Management System of the Hungarian Defence Forces, with Special Regard to the Development of International Cooperation. *AARMS Academic and Applied Research in Military and Public Management Science*, 19(1), 17–26. Online: <https://www.doi.org/10.32565/aarms.2020.1.2>
- BlazePod Reaction Lights Training for Agility and Reflex Workouts [é. n.]. Online: <https://www.blazepod.com>
- BRYAN, Carson – HAYNES, Cynthia (2024): *Exploring the Benefits of BlazePod Technology through an Occupational Therapy Lens*. University of St. Augustine for Health Sciences. Online: <https://www.soar.usa.edu/otdcapstonessummer2024/35>
- COTA, Željko – KONTIĆ, Dean – KONTIĆ, Bruno (2022): Reliability and Validity of a New Agility Test and Skill for Young Water Polo Players. In ULJEVIĆ, Ognjen – PERIĆ, Mia – PIVALICA, Dinko (szerk.): *The Proceedings Book of 1st International Conference on Science and Medicine in Aquatic Sports*: Split, Croatia, 1st–4th September 2022. [H. n.]: University of Split, Faculty of Kinesiology, 137–141.
- COUTINHO, Diogo et al. (2018): The Effects of an Enrichment Training Program for Youth Football Attackers. *PLOS One*, 13(6), e0199008. Online: <https://www.doi.org/10.1371/journal.pone.0199008>

- FORTINO, Tara A. et al. (2022): Transneuronal Tracing to Map Connectivity in Injured and Transplanted Spinal Networks. *Experimental Neurology*, 351, 113990. Online: <https://www.doi.org/10.1016/j.expneurol.2022.113990>
- GOLMOHAMMADI, Rostam et al. (2021): Effects of Light on Attention and Reaction Time: A Systematic Review. *Journal of Research in Health Sciences*, 21(4), e00529. Online: <https://www.doi.org/10.34172/jrhs.2021.66>
- GRAYBIEL, Ann M. (2000): The Basal Ganglia. *Current Biology*, 10(14), R509–R511. Online: [https://www.doi.org/10.1016/S0960-9822\(00\)00593-5](https://www.doi.org/10.1016/S0960-9822(00)00593-5)
- HOMONNAI Péter (2021): Megkülönböztető jelzést használó gépjárművezetők reakcióvizsgálata laboratóriumi körülmények között. *Belügyi Szemle*, 69(7), 1227–1237. Online: <https://www.doi.org/10.38146/BSZ.2021.7.8>
- HORVÁTH József (2024): Kognitív funkciók megjelenése, fejlesztési területe és mérésének alkalmazási lehetőségei. *Recreation*, 14(2), 22–27. Online: <https://doi.org/10.38146/BSZ.2021.7.8>
- Joó József Gábor (2012): The Scientific History of the Research of the Human Central Nervous System. *Orvosi Hetilap*, 153(6), 235–239. Online: <https://www.doi.org/10.1556/oh.2012.ho2386>
- KIRÁLY Tibor – SZAKÁLY Zsolt (2011): *Mozgásfejlődés és a motorikus képességek fejlesztése gyermekkorban*. [H. n.]: Dialóg Campus.
- KONDÁS Orsolya Ildikó – KUN Ágota – HÉRINCS Magdolna (2016): Stressz a megkülönböztetett jelzésű gépjármű volánjánál. *Alkalmazott Pszichológia*, 16(1), 7–27. Online: <https://doi.org/10.17627/ALKPSZICH.2016.1.7>
- KOVÁCS Zoltán Tibor – EMBER István (2023): A közszolgálati tűzserézet aktuális kihívásai. In GÖCZE István – PADÁNYI József (szerk.): *Húsz év a katonai műszaki tudományok szolgálatában. A katonai műszaki tudományok tudományág időszerű kérdései, aktuális tudományos kutatási eredményei*. Oktatói kötet. Budapest: Ludovika, 185–202. Online: <https://www.openaccess.ludovika.hu/nke/catalog/download/38/373/932?inline=1>
- MELEGH Gábor (2004): Reakcióidő a közúti közlekedésben. In MELEGH Gábor: *Gépjárműszakértés*. Budapest: Maróti.
- ROOSTAEI, Tina et al. (2014): The Human Cerebellum: A Review of Physiologic Neuroanatomy. *Neurologic Clinics*, 32(4), 859–869. Online: <https://www.doi.org/10.1016/j.ncl.2014.07.013>
- SHEPPARD, J. M. – YOUNG, W. B. (2006): Agility Literature Review: Classifications, Training and Testing. *Journal of Sports Sciences*, 24(9), 919–932. Online: <https://www.doi.org/10.1080/02640410500457109>
- SOUSA, André M. M. et al. (2017): Evolution of the Human Nervous System Function, Structure, and Development. *Cell*, 170(2), 226–247. Online: <https://www.doi.org/10.1016/j.cell.2017.06.036>
- TARSOLY Emil – MÉSZÁROS Tamás (2011): Idegrendszer – systema nervosum. In *Funkcionális anatómia gyógytornászhallgatók számára*. Budapest: Medicina, 178–220.
- VASS Gyula et al. (2024): A katasztrófavédelmi kutatások eredményei és fejlesztése a rendészettudomány rendszerében. *Belügyi Szemle*, 72(5), 815–833. Online: <https://www.doi.org/10.38146/BSZ-AJIA.2024.v72.i5.pp815-833>
- YIP, Derek W. – AWOSIKA, Ayoola O. – LUI, Forshing (2024): Physiology, Motor Cortical. In *StatPearls* [Internet]. Treasure Island, FL: StatPearls Publishing.

## Jogi forrás

444/2017. (XII. 27.) Korm. rendelet a közúti járművezetők pályaalkalmassági vizsgálatáról



Horváth István<sup>1</sup> 

# A gammakitöréshosszúság-adatok vizsgálatainak ellenőrzése a CGRO T50 időtartamok használatával

## Verifying Gamma-Ray Burst Duration Analysis Using Compton Gamma-Ray Observatory T50 Data

*A szakirodalomban többen megmutatták, hogy a Compton Gamma-Ray Observatory adataiban kimutatható egy harmadik típusú gammakitörési osztály. Jelen cikkben megvizsgálom, hogy a Compton Gamma-Ray Observatory Burst And Transient Source Experiment mérési adataiban szereplő T50 változó adataiban is fellelhető-e ez a tendencia. Számításaim szerint a T90-ben kimutatott harmadik csoport kimutatható a T50-adatokban is.*

**Kulcsszavak:** gammakitörés, gammasugárzás, műholdak, statisztikus elemzés

*Several authors have shown in the literature that a third type of gamma-ray burst class can be detected in the Compton Gamma-Ray Observatory data. In this paper, I examine whether this can also be found in the T50 variable data from the Compton Gamma-Ray Observatory Burst And Transient Source Experiment observation. According to my calculations, the third group detected in T90 can also be detected in the T50 data.*

**Keywords:** gamma-ray burst, gamma-ray, satellites, statistical analysis

### Bevezetés

A gammakitörések múlt századi felfedezése óta sok műholdon helyeztek el gammadetektorokat a kitörések megfigyelésére. Az egyik erre a célra készített műhold a Compton Gamma-Ray

<sup>1</sup> Egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Természettudományi tanszék, e-mail: [horvath.istvan@uni-nke.hu](mailto:horvath.istvan@uni-nke.hu)

Observatory. Fedélzetén több műszer kapott helyet, amelyek egyike a Burst And Transient Source Experiment volt. A Burst And Transient Source Experiment műszer közel tízéves működése során több mint 2000 gammakitörést figyelt meg. Időtartamuk szerint az egyes felvillanások két csoportba sorolhatók.<sup>2</sup> Az egyik típus a rövid kitörés, a másik típus a két másodpercnél is tovább tartó kitöréseké.

## A gammakitörések időtartamának meghatározása

A gammakitörések időtartamának definiálása nem könnyű feladat, ugyanis az egyes fotonokról nem tudhatjuk, hogy milyen irányból érkeztek, mert a Burst And Transient Source Experiment detektorai nem tudtak irányt mérni, vagyis a háttérfotonok és a forrásból érkező fotonok megkülönböztethetetlenek. A fotonbeérkezéseket leszámoljuk, majd időrekeszekbe soroljuk ezeket, azaz választott időegység alatt megszámlaljuk a beérkező fotonokat. Ez adja a gammakitörés nagy energiás időbeli eloszlását.

Ebből az eljárásból adódóan az időt a rekeszhossz többszöröseként tudjuk mérni. Ha rendelkezésre áll jobb időfelbontású adatsor, akkor természetesen a kumulatív görbe előállítható finomabb felbontással is.

A gammakitörés kezdete általában azonosítható, de a kitörés végét nehezebb meghatározni. Az integrális fénygörbe kezdeti és végső szintje már jobban megadható. Ha a háttér a kitörés után is jól illeszthető, akkor az integrális görbe jobb oldala is határozott érték körül ingadozik. Ez az érték a kitörésből származó összes foton száma, amelyet a detektor rögzített.

E számnak a huszadával elmetszve az integrális görbét megkapjuk azt az időpontot, amikor a detektor az összes, a kitörésből érkező foton 5%-át regisztrálta. Hasonlóan meghatározható, hogy mikor volt az az időpont, amikor az összfotoszám 95%-a beérkezett. E két idő különbségét nevezik T90-nek. A T50 értékét értelemszerűen a 25%-nak és a 75%-nak megfelelő idők határozzák meg. Az 1996-ban Kouveliotou és társai<sup>3</sup> által közölt ábrán két Gauss-görbés illesztés látszik (1. ábra).

A harmadik Burst And Transient Source Experiment-katalógust 1996-ban tették közzé,<sup>4</sup> és az adatok szinte azonnal elérhetővé váltak az interneten. A Burst And Transient Source Experiment-katalógusok több szekcióból épülnek fel, amelyek közül három részletes táblázat az interneten azóta is elérhető.<sup>5</sup>

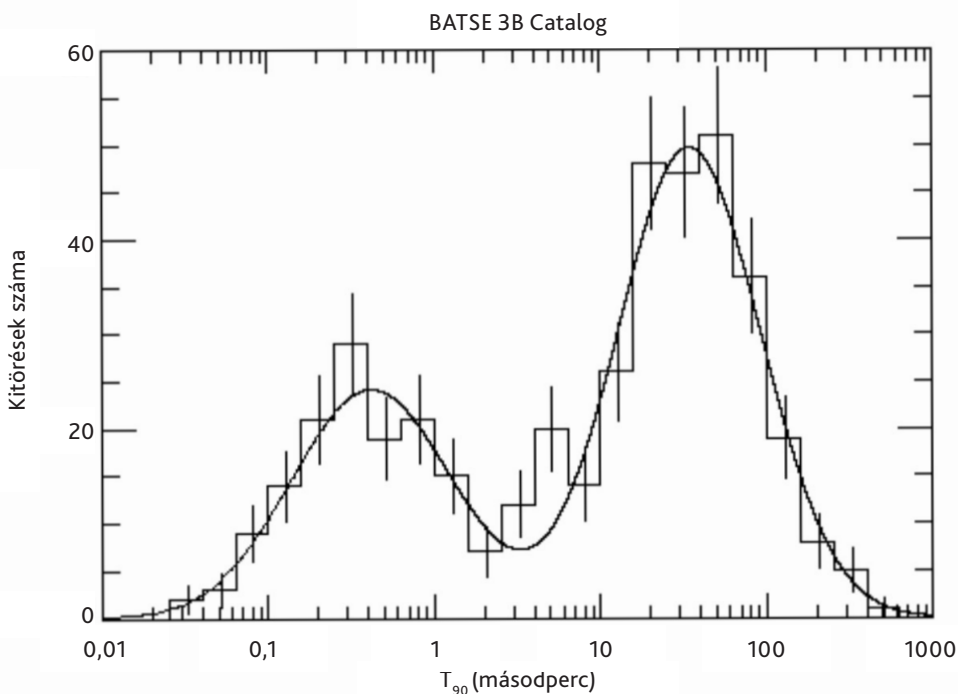
A „Basic” táblázat alapvető információkat tartalmaz, például a katalógusszámot vagy a megfigyelés dátumát és pontos idejét. A „Flux and Fluence” táblázatban az azonosítószám mellett a fluenciaérték is szerepel, amely azt mutatja meg, hogy a teljes kitörés során mekkora energia érkezett be az adott frekvenciatartományban. Ez lényegében a fénygörbe integrálja. A peak flux, magyarul csúcshévísség a fénygörbe legnagyobb értékét jelöli.

<sup>2</sup> NORRIS 1984; KOUVELIOTOU 1993.

<sup>3</sup> KOUVELIOTOU 1996.

<sup>4</sup> MEEGAN 1996.

<sup>5</sup> MALLOZZI 2018.



1. ábra: A Burst And Transient Source Experiment 3B katalógus kítöréseinek időtartam-gyakorisága

Forrás: KOUVELIOTOU 1996

A Burst And Transient Source Experiment 3B katalógus összesen 1122 gammakitörést tartalmazott. Az időtartam-táblázat 834 kítörés adatait foglalta magában. Ezeket elemeztem egy régebben publikált cikkemben.<sup>6</sup> Az időtartam-eloszlás több csúcsot is mutat. Elkülönül a hosszú és a rövid kítörések csoportja. További osztályok létezését is megvizsgáltam az említett cikkben. A vizsgálatok során a  $\chi^2$ -próbát alkalmaztam, ahol a  $\chi^2$  következő módon számolandó:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(f_i - f(x_i))^2}{\sigma_i^2}$$

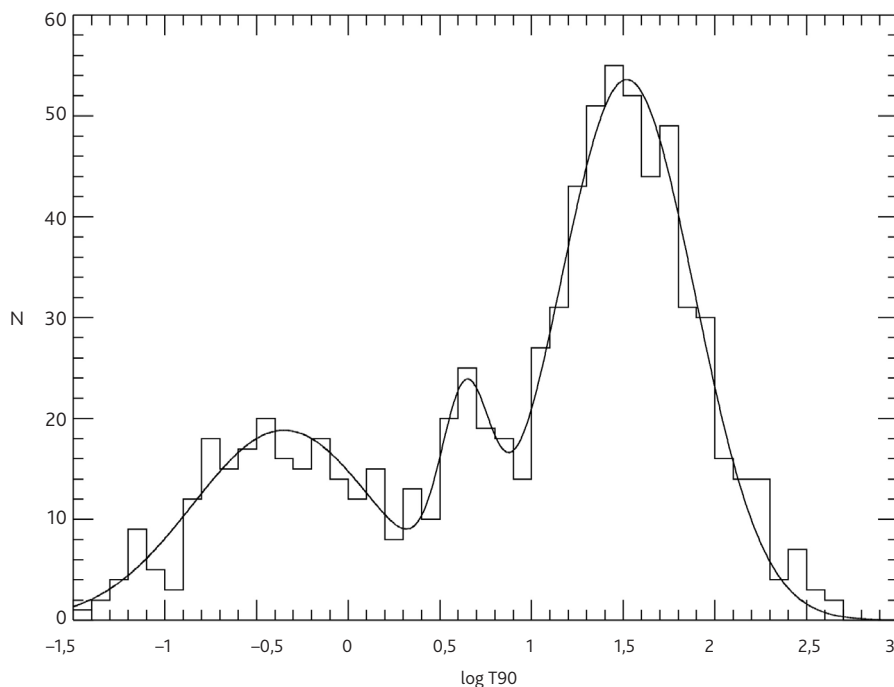
Itt  $f_i$  az illesztett függvény,  $f(x_i)$  jelenti a mérési eredményeket és  $\sigma_i$  a hiba.

Ha egy változó eloszlása több nagyságrendet lefed, akkor rendszerint a változó logaritmusát használjuk az illesztés során. A gammakitörések időtartamának logaritmikus eloszlását Gauss-görbékkel modellezhetjük. Annak eldöntésére, hogy szükség van-e további komponens bevezetésére, a következő módszert alkalmaztam. A teljes eloszlásra olyan elméleti görbét illesztettem, amely három Gauss-görbe összegéből áll (2. ábra). Az így kapott illesztés  $\chi^2$  értéke

<sup>6</sup> HORVÁTH 1998.

24,0 lett. Ezt az eredményt a korábban, két Gauss-görbe összegével végzett illesztés legjobb  $\chi^2$  értékével (46,8) kell összehasonlítani.

A két illesztés közötti  $\chi^2$ -különbség  $46,8 - 24,0 = 22,8$ , ez meghatározza a valószínűséget. Mivel a három Gauss-görbét tartalmazó modell három további paramétert is bevezet, az ehhez tartozó valószínűség három szabadsági fokú  $\chi^2$ -eloszlást követ. Ebben az esetben a 22,8-hoz tartozó valószínűség rendkívül alacsony, mindössze  $10^{-4}$ . Ez azt jelenti, hogy a megfigyelt eloszlás véletlenszerű kialakulásának esélye rendkívül csekély.



2. ábra: A háromkomponensű illesztés a T90 időtartameloszlásra

Forrás: HORVÁTH 1998

Az 1. táblázat tartalmazza a legjobb illesztés paramétereit. Az adatok alapján az úgynevezett hosszú gammakitörések átlagos T90 időtartama megközelítőleg 33 másodperc. Az illesztési eredmények szerint a megfigyelt gammakitörések 62%-a ebbe a kategóriába tartozik.

A rövid kitörések esetében az átlagos T90 időtartam körülbelül fél másodperc, és a Burst And Transient Source Experiment által detektált gammakitörések nagyjából egyharmada sorolható ebbe a csoportba. Az időtartamok eloszlására végzett illesztések alapján a 2–8 másodperc közötti gammakitörések jelentős része egy harmadik kategóriába eshet. Mivel ezek az események hosszabbak, mint 1–2 másodperc, de nem érik el a 10–50 másodperces időtartományt, indokoltnak tűnik a közepes típusú gammakitörések megnevezés alkalmazása.

1. táblázat: A három csoport paraméterei

|         | Középérték<br>(lgT90) | a lgT90<br>szórása | a tagok száma | részarány<br>%-ban | tipikus időtartam<br>T90-ben |
|---------|-----------------------|--------------------|---------------|--------------------|------------------------------|
| rövid   | -0,35                 | 0,50               | 236           | 30                 | <2 mp                        |
| hosszú  | 1,52                  | 0,37               | 497           | 62                 | >8 mp                        |
| közepes | 0,64                  | 0,14               | 61            | 8                  | ~2–8 mp                      |

Forrás: a szerző szerkesztése

## A végleges Burst And Transient Source Experiment katalógus adatainak elemzése

A Compton műhold 2000-ben befejezte működését. A Burst And Transient Source Experiment 2704 gammakitörést rögzített. A megfigyelt adatokat a Burst And Transient Source Experiment végleges katalógusában lehet elérni az interneten.<sup>7</sup> Az időtartam-táblázatban 1929 kitörésre található adat. 2002-ben ennek az 1929 kitörésnek az adatát vizsgáltam meg.<sup>8</sup> Ehhez az elemzéshez a *maximum likelihood* módszert használtam. Így minden adat önmagában szerepel az elemzés során.

A maximum likelihood módszer lényege, hogy az a paraméter valódi értékét azzal az  $a'$  értékkel becsüljük, amely ha a paraméter valódi értéke volna, akkor éppen az adott minta bekövetkezése volna a legvalószínűbb az összes lehetséges minta közül.

Ha adott az  $x_1, x_2, \dots, x_n$  n-elemű mérési minta egy változóra, amelynek sűrűségfüggvénye

$$f = f(x, a)$$

és a mérési eredményekből az a értéket akarjuk becsülni, akkor az

$$l(x_1, x_2, \dots, x_n, a) = f(x_1, a) f(x_2, a) \dots f(x_n, a)$$

függvényt likelihoodfüggvénynek nevezzük.

<sup>7</sup> The Current BATSE Burst Catalog [é. n.].

<sup>8</sup> HORVÁTH 2002.

A maximum likelihood módszer, hogy az a paraméter becslésére azt az értéket választjuk, ahol a likelihoodfüggvény értéke maximális. Az aszimptotikusan normális eloszlású becslések közül a maximum likelihood becslés a legjobb becslés.<sup>9</sup>

A Burst And Transient Source Experiment végleges katalógusa fent említett 1929 adatának az elemzésénél az egy Gauss-görbés illesztés, hasonlóan az előzőekhez, nem adott egyezést. Két Gauss-görbét illesztve 5 illesztendő paraméter volt. Egy Gauss-görbét 3 paraméterrel írhatunk le; az eloszlás maximumhelye, szórása és súlya. Következésképpen két Gauss-görbe esetén 6 illesztendő paraméterünk van, de van egy feltétel is az amplitúdók összegére. Az amplitúdók összege vagy N (az észlelt objektumok száma), vagy ha a megtalálási valószínűség az illesztett függvény, akkor a teljes integrál értéke 1. Tehát az előbb említett feltétel akkor elégíthető ki, ha az illesztés során használt súly együtthatók összege 1.

Két Gauss-görbe illesztése esetén az L maximális értéke 12 320,11, három Gauss-görbe illesztése esetén az L maximális értéke 12 326,25. A likelihood maximális értékének javulása várható, hiszen több paraméterrel írjuk le az illesztett elméleti görbét. Jelen esetben 3-mal nőtt a paraméterek száma. Ez esetben az L értékek különbségének a kétszerese 3 szabadsági fokú  $\chi^2$ -eloszlást követ.<sup>10</sup>

Az ezen

$$2(L_3 - L_2) = \chi^2_3$$

képlet alapján számított valószínűség 0,5%.

A 2. táblázatban és a 3. táblázatban az illesztésekből kapott paraméterek találhatók. A szignifikanciát Monte Carlo-módszerrel ellenőriztem.

2. táblázat: A rövid és hosszú csoportok paraméterei

| csoportok | középpont lgT90 | szórás | súly |
|-----------|-----------------|--------|------|
| rövid     | -0,11           | 0,61   | 0,32 |
| hosszú    | 1,54            | 0,43   | 0,68 |

Forrás: a szerző szerkesztése

3. táblázat: A három csoport paraméterei

| csoportok | középpont lgT90 | szórás | súly |
|-----------|-----------------|--------|------|
| rövid     | -0,25           | 0,53   | 0,26 |
| közepes   | 0,63            | 0,20   | 0,06 |
| hosszú    | 1,55            | 0,42   | 0,68 |

Forrás: a szerző szerkesztése

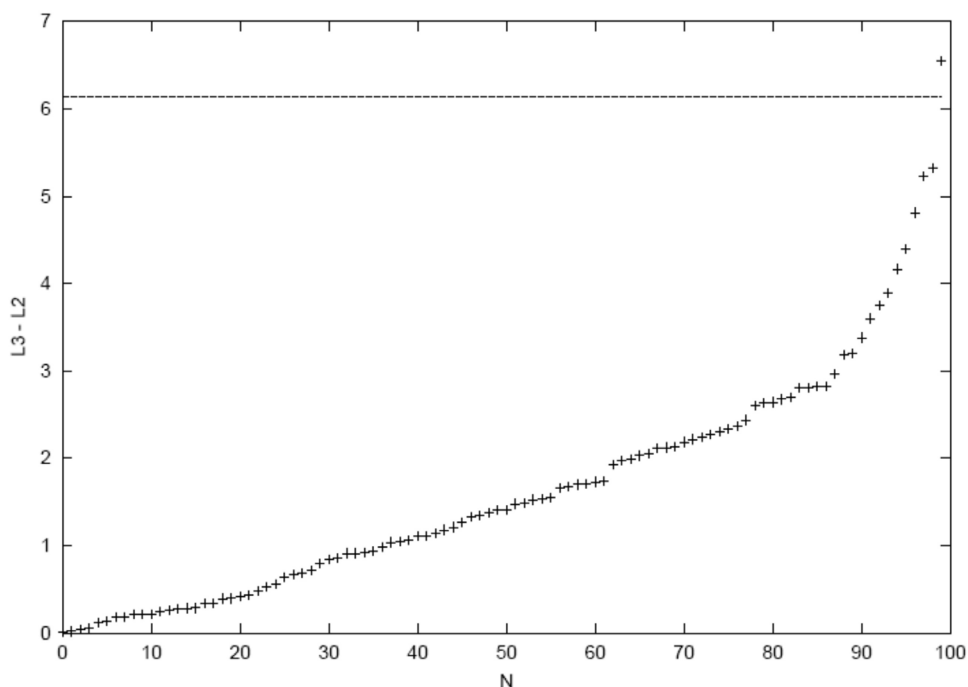
<sup>9</sup> BRONSTEIN-SZEMENGYAJEV 1980; PAÁL 1992.

<sup>10</sup> KENDALL-STUART 1976.

A 2. táblázat adataival mint sűrűségfüggvénnyel véletlenszerűen választottam 1929 számot. Ezen számokra elvégeztem a kétkomponens- és a háromkomponens-illesztést. Természetesen három komponens esetén a likelihood értéke magasabb lett. Ezt az eljárást elvégeztem még 99-szer (99×1929 véletlen számmal). A száz likelihood különbségeloszlását mutatja a 3. ábra.

Az eljárás során feltételeztem, hogy egy kétkomponensű mintából választok 1929 pontot. Feltételezve, hogy nincs harmadik komponens, a Monte Carlo-eljárással azt vizsgálom, hogy milyen eséllyel kaphatok a mérésnél tapasztalt likelihoodjavulást (6,14). Ez száz esetből egyszer történt meg, ami megerősíti a 3 szabadsági fokú  $\chi^2$ -eloszlást használva kapott 0,5% valószínűséget.

Hogy a harmadik populáció nem véletlen fluktuáció eredménye, azt az is alátámasztja, hogy a száz esetből szintén csak egyszer fordult elő, hogy a mérésnél kapott 6%-nál nagyobb lett a csoport mérete. Az átlagos csoportméret a Monte Carlo-szimuláció során 2,5% volt.



3. ábra: A Monte Carlo-szimulált likelihoodkülönbségek növekvő sorrendbe rendezett eloszlása (a szaggatott vonallal jelzett 6,14-es érték az elemzésben kapott likelihoodjavulás; a Monte Carlo-szimulációkból ezt az értéket csak egy haladta meg)

Forrás: HORVÁTH 2002

## Vizsgálatok a T50-adatok felhasználásával

Először a teljes Burst And Transient Source Experiment-katalógus 1929 kitörésének a T90-adatán ismételttem meg a számításokat maximum likelihood módszerrel. Az eredmény teljes mértékben megegyezett az irodalomban közöltekkel. Két csoportot feltételezve a likelihood

maximuma 12 320,11, három Gauss-komponenst feltételezve 12 326,25 volt. A különbség 6,14, amely 99,5%-os szignifikanciának felel meg. A legjobban illeszkedő paraméterek is azonosak voltak az irodalomban előzőleg közöltekkel.

Az 1929 darab T50-adattal is elvégeztem a számításokat. Két csoportot feltételezve a likelihood maximuma 12 216,14, három Gauss-komponenst feltételezve 12 221,61 volt. A különbség 5,47, amely 98,8%-os szignifikanciának felel meg.

1998-ban a Burst And Transient Source Experiment 3B katalógus 797 kitörésének T90-eloszlásában mutattam ki a harmadik komponenst 99,98% szignifikanciával.<sup>11</sup> Itt jegyzem meg, hogy ugyanezen 797 gammakitörés adatait használva egy másik csoport ezzel egy időben mutatta ki a harmadik komponens létét.<sup>12</sup> Tizennégy oldalas, részletes cikkükben a két keménységi hányados, a csúcshányados és a teljes fluxus mellett nemcsak T90-et, hanem T50-et is használtak, nem külön-külön, hanem egyszerre mind a hat változót. E hatdimenziós térben három csoportot találtak. Eredményük időtartamtengelyre vett vetülete nagy fokú egyezést mutatott az általam előzőleg közölt eredménnyel.

A 797 gammakitörés T90- és T50-adatai eloszlásának illesztését most újra elvégeztem. Az illesztést maximum likelihood módszerrel végeztem. T90 esetén két csoportot feltételezve a likelihood maximuma 4364,52, három Gauss-komponenst feltételezve 4375,12 volt. A különbség 10,6, amely 99,99%-os szignifikanciának felel meg. A csoportparamétereket a 4. táblázat tartalmazza.

4. táblázat: Három komponens és T90 esetén a kapott csoportparaméterek ( $q_i$  a csoport súlyaránya)

| csoport | $q_i$ | log T90 | szórás |
|---------|-------|---------|--------|
| rövid   | 0,28  | -0,35   | 0,49   |
| közepes | 0,07  | 0,61    | 0,14   |
| hosszú  | 0,65  | 1,53    | 0,40   |

Forrás: a szerző szerkesztése

T50 esetén két csoportot feltételezve a likelihood maximuma 4341,6, három Gauss-komponenst feltételezve 4354,5 volt. A különbség 12,9, amely 99,999%-os szignifikanciának felel meg. Tehát a T50-értékek még nagyobb szignifikanciával mutatják a harmadik csoport létét. A kapott csoportparamétereket az 5. táblázat tartalmazza.

5. táblázat: Három komponens és T50 esetén a csoportparaméterek ( $q_i$  a csoport részaránya a megfigyelt összes gammakitörésből)

| csoport | $q_i$ | log T50 | szórás |
|---------|-------|---------|--------|
| rövid   | 0,27  | -0,76   | 0,45   |
| közepes | 0,05  | 0,22    | 0,09   |
| hosszú  | 0,68  | 1,05    | 0,50   |

Forrás: a szerző szerkesztése

<sup>11</sup> HORVÁTH 1998.

<sup>12</sup> MUKHERJEE 1998.

A két táblázatot összehasonlítva láthatjuk, hogy a két elemzés lényegében ugyanazt az eredményt adja. Ez által most kimutattam azt, hogy a Burst And Transient Source Experiment T50-adatai is igazolják a harmadik gammakitörés-csoport létét.

## Összefoglalás

A gammakitörések forrásainak a pontos ismeretét jól segíti osztályozásuk. Elterjedt nézet, hogy kétfajta forrása lehet a kitöréseknek. A hosszú kitörések a nagy tömegű gyorsan forgó csillagok végállapotával lehetnek kapcsolatban, a rövid kitörések a kompakt kettősök összeolvadása révén keletkezhetnek. Az ismert két típustól különböző gammakitörés-fajtát többen is megpróbáltak azonosítani.<sup>13</sup> A közepesen hosszú lehetséges gammakitörés-csoportnak kiterjedt irodalma van.<sup>14</sup>

Korábbi munkáimban megvizsgáltam a Burst And Transient Source Experiment 3B katalógus 797 gammakitörés-időtartamának eloszlását. Megmutattam, hogy a háromkomponensű eloszlás szignifikáns javulás a kétkomponensűhöz képest. Majd elemeztem a végleges Burst And Transient Source Experiment-katalógust is. A katalógusban szereplő 1929 gammakitörés időtartameloszlását megvizsgáltam, és megmutattam, hogy a háromkomponensű eloszlás szignifikáns javulás a kétkomponensűhöz képest.

Jelen cikkemben mind a 3B mind a végleges Burst And Transient Source Experiment-katalógus T50-adatait elemeztem. Hasonlóan a T90-nel kapcsolatos vizsgálatokhoz itt is sikerült kimutatnom, hogy a T50-adatok is igazolják a harmadik gammakitörés-csoport létezését.

## Felhasznált irodalom

- BALASTEGUI, Andreu – RUIZ-LAPUENTE, Pilar – CANAL, Ramon (2001): Reclassification of Gamma-Ray Bursts. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 328(1), 283–290. Online: <https://www.academic.oup.com/mnras/article/328/1/283/989202>
- BRONSTEIN, I. N. – SZEMENGAJEV, K. A. (1980): *Справочник по математике*. Москва: Наука.
- HORVÁTH István (1998): A Third Class of Gamma-Ray Bursts? *The Astrophysical Journal*, 508(2), 757–759. Online: <https://www.doi.org/10.1086/306416>
- HORVÁTH István (2002): A Further Study of the BATSE Gamma-Ray Bursts Duration Distribution. *Astronomy & Astrophysics*, 392(3), 791–793. Online: <https://www.doi.org/10.1051/0004-6361:20020808>
- HORVÁTH István et al. (2020): The Clustering of Gamma-Ray Bursts in the Hercules-Corona Borealis Great Wall: The Largest Structure in the Universe? *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 498(2), 2544–2553. Online: <https://www.ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020MNRAS.498.2544H/abstract>
- KENDALL, Maurice – STUART, Alan (1976): *The Advanced Theory of Statistics*. London: Griffin.
- KOUVELIOTOU, Chryssa et al. (1993): Identification of Two Classes of Gamma-Ray Bursts. *Astrophysical Journal Letters*, 413(2), L101–L104. Online: <https://www.doi.org/10.1086/186969>
- KOUVELIOTOU, Chryssa et al. (1996): Correlations between Duration, Hardness and Intensity in GRBs. *AIP Conference Proceedings*, 384(1), 42–46. Online: <https://www.doi.org/10.1063/1.51695>

<sup>13</sup> PENDLETON 1997.

<sup>14</sup> BALASTEGUI–RUIZ-LAPUENTE–CANAL 2001; HORVÁTH 2002; MÉSZÁROS 2006; HORVÁTH 2009; ZITOUNI 2015; TARNOPOLSKI 2016; HORVÁTH 2020.

- MEEGAN, Charles A. et al. (1996): The Third BATSE Gamma-ray Burst Catalog. *The Astrophysical Journal Supplement*, 106, 65–110. Online: <https://doi.org/10.1086/192329>
- MÉSZÁROS A. et al. (2006): Redshift Distribution of Gamma-Ray Bursts and Star Formation Rate. *Astronomy & Astrophysics*, 455(3), 785–790. Online: <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20053807>
- MUKHERJEE, Soma et al. (1998): Three Types of Gamma-Ray Bursts. *The Astrophysical Journal*, 508(1), 314–327. Online: <https://doi.org/10.1086/306386>
- NORRIS, J. P. et al. (1984): Frequency of Fast, Narrow  $\gamma$ -Ray Bursts. *Nature*, 308, 434–435. Online: <https://doi.org/10.1038/308434a0>
- PAÁL G. – HORVÁTH I. – LUKÁCS B. (1992): Inflation and Compactification from Galaxy Redshifts? *Astrophysics and Space Science*, 191(1), 107–124. Online: <https://doi.org/10.1007/BF00644200>
- PENDLETON, G. N. et al. (1997): The Identification of Two Different Spectral Types of Pulses in Gamma-Ray Bursts. *The Astrophysical Journal*, 489(1), 175–198. Online: <https://doi.org/10.1086/304763>
- TARNOPOLSKI, Mariusz (2016): Analysis of the Observed and Intrinsic Durations of Swift/BAT Gamma-Ray Bursts. *New Astronomy*, 46, 54–59. Online: <https://doi.org/10.1016/j.newast.2015.12.006>
- ZITOUNI, H. et al. (2015): Statistical Study of Observed and Intrinsic Durations Among BATSE and Swift/BAT GRBs. *Astrophysics and Space Science*, 357(1), 7. Online: <https://doi.org/10.1007/s10509-015-2311-x>

## Internetes források

- The Current BATSE Burst Catalog [é. n.]. Online: [http://www.heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/cgro/batse/BATSE\\_Ctlg/index.html](http://www.heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/cgro/batse/BATSE_Ctlg/index.html)
- MALLOZZI, Robert S. (2018): BATSE. Gamma-Ray Astrophysics at the NSSTC, 2018. augusztus 28. Online: <https://www.gammaray.msfc.nasa.gov/batse/grb/catalog/>

Ondrejcsik László,<sup>1</sup>  Hábermayer Tamás,<sup>2</sup>  Révai Róbert,<sup>3</sup>   
Vass Gyula<sup>4</sup> 

# Az ITER nemzetközi mágneses fúziós kutatási-fejlesztési projekt bemutatása szervezeti és működési aspektusból

## Presentation of the International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER) Research and Development Tokamak Project from an Organisational and Operational Perspective

*Ahhoz, hogy bolygónk és az emberiség jövőbeni energiaszükségletét ideális módon és mértékben tudjuk kielégíteni, változatos termelési módszereket kell alkalmaznunk és nagymértékben törekednünk kell a nem megújuló energiaforrásoktól való függetlenedésre. A fúziós energia mint új, szénmentes bázisenergia-forrás – amely egyebek mellett nem termel nagy felezési idejű radioaktív hulladékot sem – pozitív tényezőként járulhat hozzá a jövőben az energiaszektor egyes részei problémáinak megismeréséhez, kutatásához és feltárásához.*

*Az ITER (Nemzetközi Termonukleáris Kísérleti Reaktor) az egyik legígéretesebb projekt, amely a fenntartható fúziós energia elérését célozza. A szerzők ebben a cikkben az ITER projekt eredetét, kulcsfontosságú alapító tagjait, valamint a tokamak kialakítását vizsgálják, amely megteremti a szükséges feltételeket az ITER tudományos és kísérleti céljainak eléréséhez. Továbbá kiemelik a reaktor különböző komponenseiben bekövetkezett legújabb technológiai fejlesztéseket, és megvizsgálják, hogyan működhet hatékonyan az ITER különféle körülmények között. Bemutatják a nukleáris fúzió alapelveit, és hogy miként keletkezik és*

<sup>1</sup> Doktori hallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola, e-mail: [laszlo.ondrejcsik@katved.gov.hu](mailto:laszlo.ondrejcsik@katved.gov.hu)

<sup>2</sup> Tanársegéd, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Rendészettudományi Kar Katasztrófavédelmi Intézet, e-mail: [dr.habermayer.tamas@katved.gov.hu](mailto:dr.habermayer.tamas@katved.gov.hu)

<sup>3</sup> Kórházigazgató, Budapesti Bajcsy-Zsilinszky Kórház és Rendelőintézet, e-mail: [robert.revai@bm.gov.hu](mailto:robert.revai@bm.gov.hu)

<sup>4</sup> Tanszékvezető egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Rendészettudományi Kar Katasztrófavédelmi Intézet Tűzvédelmi Műszaki Tanszék, e-mail: [vass.gyula@uni-nke.hu](mailto:vass.gyula@uni-nke.hu)

*marad meg az energia a fúziós folyamat során. A tanulmány ezután tárgyalja az ITER és az új energiaforrások fejlesztése közötti kritikus kapcsolatot. Végül a cikk a fúziós energia jövőbeli kilátásait vizsgálja, összehasonlítva azt a jelenlegi energiaforrásokkal, és értékeli potenciális szerepét a globális energiapalettán.*

**Kulcsszavak:** ITER, fúziós energia, nukleáris fúzió, a jövő energiája, tokamak

*Ideally, in order to meet the future energy needs of our planet and humanity, we have to use a variety of production methods and seek to become largely independent of non-renewable energy sources. As a new source of carbon-free baseload electricity, producing no long-lived radioactive waste, fusion can make a positive contribution to addressing resource availability, carbon dioxide emissions reduction, and the disposal and safety issues of fission waste.*

*ITER (initially the International Thermonuclear Experimental Reactor) is the most promising project to achieve fusion energy. In this article, the origins of the ITER project, its key founding members, and the design of the tokamak, which creates the necessary conditions for achieving ITER's scientific and experimental goals will be discussed. In addition, the technological improvements in several different aspects and how it can function under different situations will be introduced. The principle of nuclear fusion and how the energy is created and conserved in the whole process will also be explained. The study then discusses the critical link between ITER and the development of new energy sources. Finally, the article examines the future prospects of fusion energy, comparing it with current energy sources and assessing its potential role in the global energy mix.<sup>5</sup>*

**Keywords:** ITER, fusion energy, nuclear fusion, future energy, Tokamak

## Bevezetés

Bolygónkon alapvetően két típusú energiát különböztetünk meg, a nem megújulót és a megújulót. Az előbbi elsősorban a fosszilis tüzelőanyagokon (szén, kőolaj, földgáz) alapszik, az utóbbi pedig többek között a nap-, szél-, víz- és atomenergiát foglalja magában. A szén, a kőolaj és a földgáz tudatos technológiai felhasználásával a történelem során számos alkalommal a társadalom nagy léptékű és mára állandósult fejlődését értük el. Ezeknek a nem megújuló forrásoknak viszont véges a készlete, és a hasznos élettartamuk is rövid.<sup>6</sup> Emiatt és az elmúlt évtizedek egyre rohamosabb fejlődésével párhuzamosan is fogalmazódott meg az igény új energiaforrások iránt.

A nap által kibocsátott energia a jelenlegi energiaszükségletünk elsődleges forrása. Mivel a nap energiája főként nukleáris reakciókból származik, a kutatások ebbe az irányba indultak el. Történelmünk során háborús célra is felhasználták ugyan, de a tudóstársadalom

<sup>5</sup> GENG 2022.

<sup>6</sup> International Atomic Energy Agency 1997.

tovább gondolkodott ezen az azonnal kitörő energiaformán, és elkezdte tanulmányozni az irányított nukleáris reakciókat.<sup>7</sup>

Ez az energia a következő nukleáris reakciók egyikén keresztül szabadulhat fel:

- Nukleáris hasadás, vagyis a nehezebb atommagok hasítása, amely hatalmas mennyiségű energiát termel.
- Nukleáris fúzió, amikor könnyebb atommagok ütköznek, és óriási energiát hoznak létre.
- Nukleáris bomlás, amely során az atommagok spontán bomlása közben energia szabadul fel.

Az alapvető különbség az, hogy maghasadás során akkor szabadul fel energia, amikor egy nehéz magot neutronok hasítanak szét. Ez a jelenlegi atomerőművek és atombombák energiaforrása. Fúziós energia pedig két hidrogénatom egyesülésekor keletkezik, amely az összes csillagot hajtó energia (Napunkat is beleértve).<sup>8</sup>

1978-ban kezdődött a nemzetközi tokamakreaktor nukleáris fúziós projektjének szervezése, amely az ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor – Nemzetközi Kísérleti Termonukleáris Reaktor; „az út” latinul) alapját képezte. Ezután a világ elsőrangú vezetői az 1985-ös találkozón fejezték ki érdeklődésüket a nemzetközi együttműködésen alapuló nukleáris fúziós projektek iránt.<sup>9</sup>

Az ITER projekt legnagyobb célja olyan fúziós erőművek létrehozása, amelyek hatékonyan képesek biztosítani a nukleáris erőművek által termelt, azonos szintű energiát. A nemzetközi nukleáris fúziós kutatások célja a Nap fúziós folyamatának földi reprodukálása az energia előállítás érdekében. Ennek eredményeként a szabályozott termonukleáris fúziós energia nagyszabású alkalmazása alapvetően megoldaná az emberiség energiaválságát. A projekt tervei szerint a fő reaktor megépítését és az első plazma létrehozását követően az ITER a legnagyobb mágnesesen korlátozott plazmafizikai technikává és a világ legnagyobb kísérleti fúziós tokamakreaktorává válik.

A közlemény elkészítéséhez szükséges tudományos művek kvantitatív és kvalitatív felkutatása után azok elsősorban nemzetközi viszonylatban voltak fellelhetők, ám a csekély mértékű hazai releváns szakirodalmat szintén szerepeltettük.<sup>10</sup>

Ebben a cikkben ismertetjük, hogy milyen műszaki projekt áll az ITER mögött, és hogyan válhat ez a projekt a jövő energiaforrásává. A cikk tárgyalja a nukleáris energia előnyeit más új energiaforrásokkal összehasonlítva, különböző szempontok alapján. Jelen cikkben a szerzők a nukleáris energetika jövőjével, a fúziós energia elemzésével foglalkoznak. A tanulmány keretei között a szerzők javaslatként vázolják fel az ITER eddigi tudományos tevékenységéből adódó eredmények jövőbeni alkalmazhatóságát, az annak előnyeiből származó tudományos és társadalmi értékeket.<sup>11</sup>

<sup>7</sup> REINDERS 2021.

<sup>8</sup> MAGUREAN et al. 2019; WAN 2017; FOCARDI–ROSSI 2010.

<sup>9</sup> IKEDA 2009

<sup>10</sup> GUSZNEJOV et al. 2011.

<sup>11</sup> ALMÁSI–KÁTAI–URBÁN–VASS 2021; KÁTAI–URBÁN 2023; HOFFMANN et al. 2015; HORVÁTH et al. 2018.

## Az ITER bemutatása

Az ITER a világ egyik legambiciózusabb energiaprojektje. Az ITER egy nemzetközi kutatási-fejlesztési (K+F) tokamak- (mágneses fúzió) projekt, amelynek célja a jövőbeli villamos erőművek technológiájának kifejlesztése a mai plazmafizikai ismereteink továbbfejlesztésével. Az ITER-ben végrehajtandó kísérlet kulcsfontosságú a fúziós tudomány fejlődéséhez és a jövő fúziós elven működő erőműveinek előkészítéséhez.

Dél-Franciaországban 33 nemzet működik együtt a világ legnagyobb tokamakjának, egy mágneses fúziós berendezésnek a megépítésén, amely arra hivatott, hogy a világ számára megvalósítsa azt a hatalmas, szén-dioxid-mentes és biztonságos energiaforrást, amely ugyanazon az elven alapul, amely alapján a Napunk és a csillagok is élnek, működnek.

Az ITER elsődleges célja az égő plazmák vizsgálata és bemutatása – a plazmákban a fúziós reakciók során keletkező héliummagok energiája elegendő a plazma hőmérsékletének fenntartásához, ezáltal csökkentik vagy megszüntetik a külső fűtés szükségességét. Az ITER tesztelni fogja továbbá a fúziós reaktorhoz elengedhetetlen technológiák (például a távoli karbantartás és a plazmából történő energiaelszívás rendszerei) lehetőségeit és azok projektbe való integrálhatóságát.

Mérnökök és tudósok ezrei járultak hozzá az ITER tervezéséhez azóta, hogy 1985-ben először merült fel a fúzióval kapcsolatos közös nemzetközi kísérlet ötlete. Az ITER tagjai mára már két évtizedes együttműködésben dolgoznak az ITER kísérleti fúziós reaktorának megépítésén és működtetésén.

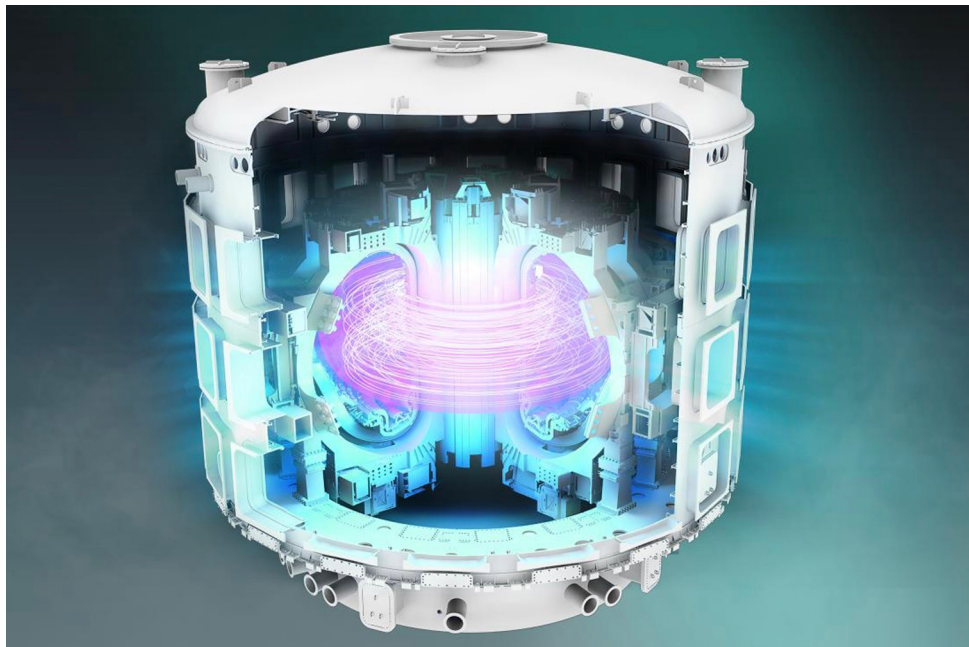
A fúzió a Nap és a csillagok energiaforrása. A csillagok magjában uralkodó hatalmas hő és gravitáció hatására a hidrogén atommagok összeütköznek, nehezebb héliumatommá fuzionálnak, és e folyamat során hatalmas mennyiségű energia szabadul fel.

A 20. századi fúziós tudomány laboratóriumi körülmények között a leghatékonyabb fúziós reakciót két hidrogénizotóp, a deutérium (D) és a trícium (T) közötti reakcióban határozta meg, mivel a DT fúziós reakció a „legalacsonyabb” hőmérsékleten produkálja a legnagyobb energiakitermelést. A laboratóriumi fúzió megvalósításához három feltételnek kell teljesülnie: nagyon magas hőmérséklet (150 000 000 °C nagyságrendű), megfelelő plazmarészecske-sűrűség (az ütközések valószínűségének növelése érdekében) és megfelelő exponálási idő (a tágulásra hajlamos plazma meghatározott térfogaton belül tartásához).

Szélsőséges hőmérsékleten az elektronok elválnak az atommagoktól, és a gáz plazmává válik – ezt gyakran az anyag negyedik állapotaként említik. A fúziós plazmák biztosítják azt a környezetet, amelyben a könnyű elemek összeolvadhatnak és energiát nyerhetnek. Egy tokamakberendezésben erős mágneses tereket használnak az ilyen módon kialakult plazma szabályozására. A tokamakot először szovjet kutatók fejlesztették ki az 1950-es évek végén, és világszerte a mágneses fúziós berendezés legígéretesebb konfigurációjaként fogadták el.

Az ITER-tokamak olyan kísérleti gép, amelyet a fúziós energia hasznosítására terveztek. A tokamak (1. ábra) belsejében az atomok fúziója során keletkező energia hő formájában elnyelődik az edény falaiban. A hagyományos erőművekhez hasonlóan a fúziós erőmű is

ezt a hőt használja fel, először gőz formájában, hogy a turbinák és a generátorok meghajtásával villamos energiát állítson elő.



1. ábra: Tokamak

Forrás: What is a tokamak? [é. n.]

A tokamak szíve a fánk alakú vákuumkamra. Belsejében, extrém hő és nyomás hatására, a gáznemű hidrogén-üzemanyag plazmává alakul, aminek során a hidrogénatomok összeolvadhatnak és energiát nyerhetnek. Az edény körül elhelyezett hatalmas mágnesetekercsek segítségével nyílik lehetősége a plazma töltött részecskéinek kontrollálására, ami abban játszik fontos szerepet, hogy a forró plazmát az edény falától távol tartsák. A „tokamak” kifejezés egyebek mellett egy orosz rövidítésből származik, amely a „mágnesetekercsekkel ellátott toroidális kamra” rövidítése.

Az ITER lesz a világ legnagyobb tokamakja, hatszor akkora plazmakamra-térfogatú és nagyságrendileg kétszer akkora lesz, mint a jelenleg működő legnagyobb ilyen berendezés. Az ITER-projekt 35 nemzet (egyesülés) együttműködésén alapul. Mint ITER-tagok Kína, az Európai Unió (az Euratomon keresztül), India, Japán, Korea, Oroszország és az Egyesült Államok egyesítette erőforrásait, hogy ezt a forradalmi technológiai újítást megvalósítsa, nevezetesen, hogy a Földön előállítsa a Napot és a csillagokat tápláló energiát. A 2006-ban megkötött ITER-megállapodás aláírójaként a hét tagország a projekt építésének, üzemeltetésének és leszerelésének költségeit megosztja egymás közt. Osztóznak továbbá a kísérleti eredményeken és a gyártási, építési és üzemeltetési fázisok során keletkező szellemi tulajdonon is. Az építési költségek legnagyobb részét (45,6 százalék) Európa állja; a fennmaradó részen Kína, India,

Japán, Korea, Oroszország és az Egyesült Államok (egyenként 9,1 százalék) egyenlő arányban osztozik. A tagok nagyon kevés pénzbeli hozzájárulást nyújtanak a projekthez, ehelyett ugyanis azok túlnyomó részét, mintegy 90 százalékát a kész alkatrészek, a beépítésre váró rendszerek és berendezések vagy egyenesen épületek, funkcionális építmények formájában használják fel a projektben.

Az ITER-szervezet külön (technikai-műszaki jellegű) együttműködési megállapodást kötött Ausztráliával (az Ausztrál Nukleáris Tudományos és Technológiai Szervezeten [ANSTO] keresztül) 2016-ban és Kazahsztánnal (a kazahsztáni Nemzeti Nukleáris Központon keresztül) 2017-ben. Egyetértési megállapodás van érvényben a Thaiföldi Nukleáris Technológiai Intézettel (2018), valamint Kanadával (2020).

Fúziós energia, reakció nélkül nem lenne élet a Földön. A fúzió az univerzum energiaforrása, amely a Nap és a csillagok magjában zajlik. Amit fényként látunk és melegként érzünk, az a Napunk magjában bekövetkező fúziós reakció eredménye: a folyamatban a hidrogénmagok egymással való ütközése és héliumatomokká történő egyesülése hatalmas mennyiségű energia felszabadulásával jár. Az univerzumban ez a gravitációs erők különféle hatásai révén végbement folyamat a hidrogénfelhők hatalmas csillagtestekké alakulásához vezetett, amelyeknek a belsejében lévő extrém sűrűségben és hőmérsékletben fúzió zajlik.

Az atomok sebessége hőmérsékletfüggő: minél forróbbak, annál gyorsabban mozognak. A Nap magjában, ahol a hőmérséklet eléri a 15 000 000 °C-ot, a hidrogénatomok folyamatos izgalmi állapotban vannak. Amikor nagyon nagy sebességgel ütköznek, a pozitív töltésű magjaik között létező természetes elektrosztatikus taszítás legyőzhetővé válik, aminek következtében az atomok fúzióba lépnek egymással. A könnyű hidrogénatomok fúziója egy nehezebb elemet, héliumot eredményez. A keletkező héliumatom tömege azonban nem pontosan az eredeti hidrogénatomok összegét adja – valamennyi tömeg ugyanis elveszett az óriási mennyiségű energia keletkezésekor.

Minden másodpercben a Napunk 600 millió tonna hidrogént alakít át héliummá, ezzel hatalmas mennyiségű energiát felszabadítva. A fúzió Földön való eléréséhez azonban más megközelítés vált szükségsszerűvé. A 20. századi fúziós tudomány – laboratóriumi környezetben – a legköltséghatékonyabb fúziós reakciónak két hidrogénizotóp, a deutérium (D) és a trícium (T) közötti reakciót (DT fúzió) azonosította.<sup>12</sup> A DT fúziós reakció a legmagasabb energiaszintet produkálja relatíve alacsony hőmérsékleteken. Ez 150 000 000 °C-ot jelent, ami tízszer magasabb a Napban zajló hidrogénreakció hőmérsékleténél.<sup>13</sup>

A fúziós tudomány középpontjában a plazmafizika áll. Extrém hőmérsékleteken az elektronok elválnak a magoktól, és a gáz plazmává alakul. A töltött részecskékből (pozitív magokból és negatív elektronokból) álló plazmák nagyon ritka környezetet teremtenek, sűrűségük a levegő sűrűségének közel egymilliomod része, ám a fúzió létrejöttéhez, az energiatermeléshez ez a környezeti paraméter elengedhetetlen. A fúzió három feltétel együttes teljesüléséhez kötött: nagyon magas hőmérséklet (a magas energiájú ütközések kiváltásához), elegendő plazmarészecske-sűrűség (az ütközések valószínűségének növeléséhez) és megfelelő záridő

<sup>12</sup> BRADSHAW et al. 2011.

<sup>13</sup> AYMAR 1997.

(a kitágulásra hajlamos plazma meghatározott, szabályozott térfogattartományban történő tartásához).

Az ITER-ben a fúziót a fentebb is említett tokamakberendezésben érik el, mágneses mezőket használva a forró plazma ideális állapotának fenntartásával, ahol is a plazma részecskéit különböző módszerek segítségével hevítik, egyben felgyorsítják. A tokamak mágneses hatásának kitett elektromos töltöttségű héliumatommag a plazma környezetében marad, ahol folyamatosan melegíti, gyorsítja a részecskéket. Azonban a termelt energia körülbelül 80 százalékát az atommag mágneses erővel szembeni semleges neutronja szállítja el a plazmából. Ezek a neutronok elnyelődnek a tokamak falába, ahol kinetikus energiájuk hővé alakul. Az ITER-ben ezt a hőt a tartály falain keringő hűtővíz fogja meg, amely végül hűtőtoronyokon keresztül oszlik el. A jövőben (a 2050-es és az azt követő évekre) tervezett fúziós erőművekben ezt a hőt gőz előállítására használják majd, turbinákon és generátorokon keresztül elektromos áram termelése céljára.

A fúziós reakció energiapotenciálja a Földön ismert összes energiaforráshoz képest felülmúlhatatlan. Az atomok kontrollált fúziója közel négymilliószer több energiát szabadít fel, mint egy kémiai, például a szén, az olaj vagy a gáz elégetésével végbemenő reakció, és négyszer annyit, mint a nukleáris maghasadás.<sup>14</sup>

## A fúziós energia előnyei

A következő évtizedek kulcsfontosságúak világunk számára az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése érdekében. Kutatók számításai szerint a 21. század végére az energia iránti kereslet megháromszorozódik, különösen a népességnövekedés, a fokozódó urbanizáció és a fejlődő országokban a villamosenergia-ellátáshoz való hozzáférés bővülése miatt. Az is világossá vált, hogy a 19. és a 20. század civilizációs fejlődését mozgató hagyományos fosszilis tüzelőanyagok által biztosított energiára a továbbiakban csak a fokozottabb üvegházhatás és a nagyobb mértékű környezetszennyezés árán lehet támaszkodni. Éppen emiatt az is megfogalmazódott, hogy égetően fontos egy új, nagyszabású, fenntartható és legfőképp szén-dioxid-mentes energiaforrás biztosítása. A kutatások bizonyítják, hogy ez nem más, mint a fúziós energia, amelynek további kutatását az alábbi előnyök és eddig elért eredmények teszik érdekessé a folytatásra.

*Bőséges energia:* Az atomok kontrollált fúziója – azonos tömeg mellett – közel négymilliószer több energiát szabadít fel, mint egy kémiai reakció (például a szén, az olaj vagy a gáz elégetése), és négyszer annyit, mint a nukleáris fúziós reakciók. A fúziónak megvan az a potenciálja, hogy biztosítsa azt a bázisenergia-forrást, amely szükséges a városaink és az iparágaink áramellátásához.

*Nincs CO<sub>2</sub>:* A fúzió nem bocsát ki káros anyagokat, például szén-dioxidot vagy más, üvegházhatású gázokat a légkörbe. Fő mellékterméke egy inert, nem toxikus gáz: a hélium.

*„Az idő végtelenségéig”:* Az ITER-ben zajló fúziós folyamatokhoz két elemre lesz szükség: deutériumra és tríciumra. A deutérium a víz minden formájából desztillálható, míg a trícium

<sup>14</sup> JACQUINOT 1997.

a fúziós reakció során keletkezik, amikor a fúziós neutronok lítiummal lépnek kölcsönhatásba. (Földünk jelenleg ismert lítiumkészletei a fúziós erőművek működését több mint 1000 évig biztosítanák, míg a tengeri alapú lítiumkészletek esetében – amelyeket a fúziós reaktorokban Li-6 izotópként használnak – ez az időintervallum évmilliókat jelent.) A kihívás tehát nem a készlet kapcsán merül fel, a kritikus kérdés az, hogyan lehet megbízhatóan szaporítani és visszanyerni a tríciumot egy fúziós eszközben.

*Nincs hosszú felezési idejű radioaktív hulladék:* A nukleáris fúziós reaktorok nem termelnek magas aktivitású, hosszú felezési idejű radioaktív hulladékot. A fúziós reaktor egyes elemeinek aktiválódása várhatóan elég alacsony lesz ahhoz, hogy az anyagokat belátható időn, akár már 100 éven belül újrahasznosítsák vagy újrafelhasználják.

*Korlátozott kockázati faktor:* A fúzió nem alkalmaz fosszilis anyagokat, mint például az urán és a plutónium. Az ITER fúziós reaktorban egyáltalán nincsenek olyan dúsított, dúsítható anyagok, amelyeket nukleáris fegyverek előállításában lehetne felhasználni.

*Nincs olvadásveszély:* A Fukushima-típusú nukleáris baleset nem lehetséges egy fúziós tokamakesszközben. A fúzióhoz szükséges pontos körülményeket rendkívül precíz és nehéz folyamat során lehet elérni és fenntartani. Bármilyen zavar fellépése esetén a plazma másodpercek alatt lehül, és a fúziós reakció leáll. A fánk alakú edényben a fúziós folyamat bármelyik pillanatában csak néhány másodpercre elegendő üzemanyag van jelen, így a láncreakciós folyamat lehetőségének kockázata gyakorlatilag nulla.

*Költség:* A jövőre tervezett fúziós reaktor teljesítménye valószínűleg hasonló lesz egy atomreaktoréhoz (ez körülbelül 1 és 1,7 gigawatt közötti). Az átlagos kilowattóránkénti költséget azonban még nem lehet tisztán megállapítani, mivel az működési tapasztalatokat igényel, amelyek csak az ITER néhány éves működtetése után állnak majd rendelkezésre. Mint az összes új technológia esetében, a költségek kezdetben itt is relatíve magasak lesznek, de a gazdaság működése számtalanszor bebizonyította, hogy ezt drasztikusabb visszaesés követi, végül pedig a csúcshoz képest alacsonyabb költségintenzitén stabilizálódik majd az érték.<sup>15</sup>

## Befejezés, összegzés

Jelen cikk célja az volt, hogy az ITER nemzetközi szervezet keretein belül betekintést nyújtson a jövő energetikájával, a fúziós energiával kapcsolatos egyes kutatási-fejlesztési fázisokba, és bemutassa annak potenciális előnyeit. Az ITER eddigi tudományos eredményei során bebizonyosodott, hogy amint a nukleáris fúzió során a két hidrogénatom egyesüléséből származó fúziós energia, úgy a deutérium-trícium fúzió is nagy mennyiségű energiát szabadít fel. A deutérium-trícium reakció termékei nem radioaktívak, és a neutronaktivált reaktorszerkezeti anyagok csak kis mennyiségű, alacsony felezési idejű radioaktív anyagot termelnek, amelyek kezelése kiváltképp könnyebb. A fúziós reaktorok nem szennyeznek a környezetet kén- és nitrogén-oxidok kibocsátásával, és nem bocsátanak ki üvegházhatású gázokat sem. A fúziós üzemanyag-ellátás korlátlan, és az emberi civilizáció egész területén elérhető minden

<sup>15</sup> ITER – The Way to New Energy [é. n.].

ország számára. A trícium csak nyomokban fordul elő a természetben, viszont neutronokkal történő besugárzással létrehozható. Ez a folyamat a reaktortartályon belül is végrehajtható, ahol a reaktor plazmája körüli lítiumrétegből tríciumot lehet előállítani, így nem szükséges az üzemanyagot a létesítményen kívül szállítani; ennek eredményeként válik a deutérium és a lítium a fúziós reaktorok fő üzemanyagává. Egy fúziós reakció egymilliószor több energiát használ fel, mint egy kémiai reakció, és 1 gramm elsődleges fúziós üzemanyag (deutérium és lítium) ugyanannyi energiát szolgáltat, mint 1 tonna szén. A tengervíz pedig több gigatonna deutériumot és lítiumot tartalmaz, ami hosszú időkre elegendő üzemanyagot biztosít a szükséges energia előállításához.<sup>16</sup>

Az ITER a tudomány jelenlegi állása szerint az emberiség történetében a legígéretesebb projekt a fúziós energia elérésére.<sup>17</sup> A nukleáris energia világszerte hatékony és megbízható elektromosságot termel, és jelenleg több mint 400 üzemi reaktor működik több mint 30 országban. A tudósok eddig jelentős előrelépést értek el a nukleáris fúzió kutatásában és az ITER projektben. Bár az ITER kapcsán még mindig vannak megoldandó helyzetek, problémák, a nukleáris fúziós energiáról mégis teljes bizonyossággal kijelenthető, hogy a jövőt illetően a legideálisabb energiaforma, és a megvalósításához szükséges tudományos áttöréshez vezető utat a tokamakeszközökhöz hasonló mesterséges napok jelentik.

## Felhasznált irodalom

- ALMÁSI Csaba – KÁTAI-URBÁN Lajos – VASS Gyula (2021): *Ipari és közlekedési balesetek okainak vizsgálata, különös tekintettel a természeti katasztrófák hatásaira*. Online: <https://www.vedelem.hu/letoltes/document/487-ipar1.pdf>
- AYMAR, Robert (1997): The ITER Project. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 25(6), 1187–1195. Online: <https://doi.org/10.1109/27.650895>
- BRADSHAW, Alexander Marian – HAMACHER, Thomas – FISCHER, Ulrich (2011): Is Nuclear Fusion a Sustainable Energy Form? *Fusion Engineering and Design*, 86(9–11), 2770–2773. Online: <https://www.doi.org/10.1016/j.fusengdes.2010.11.040>
- FOCARDI, Sergio – ROSSI, Andrea (2010): *A New Energy Source from Nuclear Fusion*. Online: <https://www.lenr-canr.org/acrobat/FocardiSanewenergy.pdf>
- GENG, Shuaibo (2022): An Overview of the ITER Project. *Journal of Physics: Conference Series*, 2386, 012012. Online: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2386/1/012012>
- GUSZEJNOV Dávid – POKOL Gergő – PUSZTAI István (2011): A RENATE atomnyaláb diagnosztika szimuláció általánosítása és alkalmazása az ITER diagnosztikai nyalábjára. *Nukleon*, 4(87). Online: [https://www.nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/Nukleon\\_4\\_2\\_87\\_Guszejnov.pdf](https://www.nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/Nukleon_4_2_87_Guszejnov.pdf)
- HOFFMANN Imre et al. (2015): Iparbiztonság Magyarországon. *Védelem Online*, 22(1), 549. Online: <https://www.vedelem.hu/letoltes/anyagok/549-dr-hoffmann-imre-dr-levai-zoltan-dr-katai-urban-lajos-dr-vass-gyula.pdf>
- HORVÁTH Hermina et al. (2018): *Iparbiztonságtan II*. Budapest: Dialóg Campus. Online: <https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/handle/20.500.12944/18851>
- IKEDA, Kaname (2009): ITER on the Road to Fusion Energy. *Nuclear Fusion*, 50(1), 014002. Online: <https://www.doi.org/10.1088/0029-5515/50/1/014002>

<sup>16</sup> SHARMA–VARSHNEY 2019; STACEY 2018; TOSCHI 1997.

<sup>17</sup> International Atomic Energy Agency 1997.

- International Atomic Energy Agency (1997): *Fusion Energy 1996: Proceedings of the Sixteenth International Conference on Fusion Energy*. Vienna: International Atomic Energy Agency. Online: <https://www.inis.iaea.org/records/8f1g0-3rp07>
- JACQUINOT, Jean (1997): *Plasma Heating and Current Drive Systems for ITER and Future Fusion Devices*. In 17th IEEE/NPSS Symposium Fusion Engineering (Cat. No.97CH36131). San Diego, CA: IEEE, 399–404. Online: <https://doi.org/10.1109/FUSION.1997.687064>
- KÁTAI-URBÁN Maxim (2023): Veszélyes üzemek biztonságával foglalkozó mértékadó tudományos szakirodalom áttekintő értékelése. *Polgári Védelmi Szemle*, 15(DAREnet projekt különszám), 340–351.
- MAGUREAN, Ancuta M. et al. (2019): Einstein's Equation in Nuclear and Solar Energy. In VIZUREANU, Petrica (szerk.): *Thermodynamics and Energy Engineering*. [H. n.]: IntechOpen. Online: <https://doi.org/10.5772/intechopen.90574>
- REINDERS, Lodewijk Johannes (2021): *The Fairy Tale of Nuclear Fusion*. [H. n.]: Springer. Online: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-64344-7>
- SHARMA, Jyoti – VARSHNEY, Sanjeev Kumar (2019): Mega Science and International Relations: A Case of 'International Nuclear Fusion Research and Engineering (ITER)'. *Science Diplomacy Review*, 1(4), 3–13. Online: <https://www.ris.org.in/sites/default/files/2021-09/SDR%204%20-%20November%20issue%20-%20for%20printand%20upload-min.pdf>
- STACEY, Weston M. (2018): *Nuclear Reactor Physics*. [H. n.]: Wiley. Online: <https://doi.org/10.1002/9783527812318>
- TOSCHI, Roberto (1997): Nuclear Fusion, an Energy Source. *Fusion Engineering and Design*, 36(1), 1–8. Online: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-82762-3.50006-9>
- WAN, Baonian (2017): *Man-Made Sun. East Fully Superconducting Tokamak Fusion Test Device*. Zhejiang Province, China: Zhejiang Education Publishing House.

## Internetes források

- ITER – The Way to New Energy [é. n.]. Online: <https://www.iter.org/>
- What is a tokamak? [é. n.]. ITER – The Way to New Energy. Online: <https://www.iter.org/machine/what-tokamak>

Norbert Daruka,<sup>1</sup>  Kálmán Dénes,<sup>2</sup>  Zoltán Kovács,<sup>3</sup>   
Róbert Vég,<sup>4</sup>  István Ember<sup>5</sup> 

# Health Risks of Additive Manufacturing Technology<sup>6</sup>

*Despite the fact that additive manufacturing technology has been around for decades, its radical uptake has only been seen in recent years. Today, they are not only used in industrial areas, but also in everyday household applications. At the same time, accidents and injuries have also occurred that were solely the result of the easy access to 3D printers. The risks of accidents and injuries in additive manufacturing arise in different areas. Burns, injuries caused by moving parts, electrical shocks, chemical accidents, as well as fire hazards and ergonomic problems have been reported. Minimising risks is impossible without proper personal protective equipment and adherence to safety measures, as well as professional handling and maintenance of machinery. Our aim is to draw the reader's attention to the risk factors that can fundamentally influence the likelihood of injuries and accidents occurring.*

**Keywords:** health risks, 3D printing risks, occupational safety risks

## Introduction

The explosive development and increasing penetration of digital technology is opening up innovative and wide-ranging development opportunities, while also creating unprecedented challenges in different areas of work.

Additive manufacturing technology is one of the most innovative and fastest growing areas in modern industry, a manufacturing process where a three-dimensional object is built

<sup>1</sup> Explosives industrial engineer, e-mail: [daruka.norbi@gmail.com](mailto:daruka.norbi@gmail.com)

<sup>2</sup> Civil engineer, e-mail: [denes.kalman.1975@gmail.com](mailto:denes.kalman.1975@gmail.com)

<sup>3</sup> Associate Professor, Ludovika University of Public Service, Department of Combat Support, e-mail: [kovacs.zoltan@uni-nke.hu](mailto:kovacs.zoltan@uni-nke.hu)

<sup>4</sup> Associate Professor, Ludovika University of Public Service, Department of Military Technology, e-mail: [vegh.robert@uni-nke.hu](mailto:vegh.robert@uni-nke.hu)

<sup>5</sup> Assistant Professor, Ludovika University of Public Service, Department of Combat Support, e-mail: [ember.istvan@uni-nke.hu](mailto:ember.istvan@uni-nke.hu)

<sup>6</sup> Project No. 2022-2.1.1-NL-2022-00012 has been implemented with the support provided by the Ministry of Culture and Innovation of Hungary from the National Research, Development and Innovation Fund, financed under the National Laboratory of Cooperative Technologies funding scheme.

layer by layer, i.e. material is added only where it is needed, rather than removed. This process contrasts with traditional subtractive manufacturing, where material is removed from the workpiece, for example by milling or turning. The material can be plastic, metal, concrete or, in some cases, even living tissue. If today's technological possibilities are taken into account, it is clear that design determines production. With the right design software, we can create almost any three-dimensional shape in digital form, which can be built up layer by layer using the right printers. Additive technology has revolutionised manufacturing in many industries and offers a number of advantages that have many potentials. Such advantages include:

- cost reduction and time saving
- customised product production
- production of complex geometries and parts
- material saving, sustainability
- innovation and new product development
- automation and process optimisation
- customised and small series production
- potential for new industrial applications

Today, additive manufacturing technology is revolutionising production and industrial design by offering fast, flexible and cost-effective solutions for operators and end users alike. The ability to create complex geometries, the possibility of customisation, sustainability and the promotion of innovation all contribute to making additive manufacturing an increasingly important player in the industries of the future.

Despite the fact that additive manufacturing is gaining ground in areas such as the production of customised medical devices and implants, there are potential health risks that need to be taken into account, including the inherent dangers of the technology.

The risks inherent in the technology may include:

- risks of nanoparticles and volatile organic compounds
- bacterial and viral contamination risks
- biocompatibility and toxic substance risks
- accident and injury risks

## Risks of nanoparticles and volatile organic compounds

Particulate matter (nanoparticles) and volatile organic compounds<sup>7</sup> (VOCs) are potentially harmful substances produced during additive manufacturing (3D printing), which can be hazardous to both health and the environment.

Fine particles (or particulates) are microscopic solids in the air that can cause various health problems if inhaled. In additive manufacturing, they are produced during the heating,

---

<sup>7</sup> Volatile Organic Compound (VOC): Any organic compound with a high vapour pressure at normal room temperature and a boiling point below 250 °C, which causes a large number of molecules to evaporate and enter the ambient air.

melting or injection moulding of printed materials (metals, plastics, ceramics). Based on the market segments, the products of the different manufacturers and the priorities for domestic sales, it can be concluded that the most commonly used raw materials are:

- Acrylonitrile butadiene styrene (ABS):<sup>8</sup> A thermoplastic with good impact resistance, high hardness and strength, good heat resistance and chemical resistance, which can be classified as an amorphous polymer.
- Polylactic acid (PLA):<sup>9</sup> A biodegradable thermoplastic produced from cereals with a high starch content.
- Resin: A UV-curable liquid plastic used<sup>10</sup> in stereo-lithography processes, specifically for 3D printing.
- Polyethylene terephthalate glycol (PETG):<sup>11</sup> A popular plastic in additive manufacturing technology because it has good mechanical properties, is easy to handle and less prone to deformation than other plastics such as ABS.

For the listed materials, it can be concluded that there are risks to be considered when using them in 3D printing, such as exposure<sup>12</sup> to nanoparticles and volatile organic compounds (VOCs). Despite the ongoing work of the European Chemicals Agency (ECHA) to set appropriate limit values for the hazards of a substance at both EU and national level, there are no agreed Occupational Exposure Limits (OELs) for nanoparticles<sup>13</sup> in many countries. Occupational exposure limit values (OELs) are regulatory values that indicate exposure levels considered safe (from a health point of view) for chemicals in the air at the workplace. The international literature provides a set of reference values to assess the exposure of nanoparticles generated during 3D printing.<sup>14</sup>

The most common sources of risks from “fine particles” (Particles) or nanoparticles are:

- In the case of plastics (e.g. PLA, ABS, PETG) harmful compounds evaporating from heated materials.
- In the case of metal printing, it is also the gases, vapours or tiny metal particles released due to the high temperatures required for the operation of metal printing machines.

<sup>8</sup> The basic properties of PLA are determined by its constituents. Styrene provides good processability, acrylonitrile provides hardness, heat resistance and chemical resistance, and butadiene provides flexibility and low temperature hardness. The addition of different additives and the ability to modify the proportions of the components allows the creation of 3D printing substrates with different specific characteristics.

<sup>9</sup> PLA is soluble in many organic solvents, so these solvents are used in 3D printers to clean extruder heads.

<sup>10</sup> The photosensitive resin can be cured by UV light or laser.

<sup>11</sup> Especially in the food industry and medical applications. Although the number of toxic gases emitted by PETG printing is better than ABS, there are still risks.

<sup>12</sup> BYRLEY et al. 2019: 395–407; GU et al. 2019: 476–485; KWON et al. 2017: 10357–10368.

<sup>13</sup> Occupational Exposure Limit (OEL): Occupational exposure limits are regulatory values that indicate exposure levels considered safe (from a health point of view) for chemicals in the air at the workplace. In Hungary, the limit values are set out in ITM Decree 5/2020 (II. 6.) on the protection of the health and safety of workers exposed to chemical agents.

<sup>14</sup> GARCIA GONZALEZ – LOPEZ POLA 2023.

All materials used for 3D printing may pose some health risks, in particular due to airborne substances released during printing. These risks can manifest as respiratory irritation, chronic respiratory diseases and sometimes lung tumours.

## Toxic gases and their health risks in 3D printing

Toxic gas emissions from additive manufacturing pose a serious health risk. These compounds are released from certain solids or liquids in the form of gases. The gases released may contain chemicals that can have harmful effects on the human body in the short or long term. A contributing factor is that concentrations of volatile organic compounds can be up to ten times higher indoors than outdoors. This is particularly relevant in the case of 3D printing, as the technology using the materials mentioned above is almost invariably installed in enclosed spaces. The number of products emitting volatile chemicals is estimated in the thousands by the U.S. Environmental Protection Agency (EPA).<sup>15</sup>

The *Total Exposure Assessment Methodology (TEAM) Study* Volumes I–IV published by the Office of Research and Development of EPA found as early as the 1980s that levels of about a dozen common organic pollutants are 2 to 5 times higher inside homes than outside, regardless of their location.<sup>16</sup> This is important because while people (not necessarily workers) use products containing organic chemicals during the 3D printing process, they can expose themselves and their environment to very high levels of pollutants that can persist in the air for a long time after the activity has ended.

Different types of printing can release different types of toxic gases into the air, which can cause acute or chronic health problems if inhaled.<sup>17</sup>

Styrene, for example, is a pleasant smelling, highly refractive compound that is insoluble in water but soluble in many organic solvents and freely miscible with alcohol and ether. The compound is formed when the plastic reaches high temperatures (around 230–260 °C) during printing. Inhalation of styrene can cause acute respiratory irritation, coughing, headache and dizziness. Prolonged exposure to high concentrations of styrene can damage the central nervous system and some research suggests that styrene can cause cancer.

Printing and ABS printing in particular, can also produce small amounts of formaldehyde, a known carcinogen.<sup>18</sup> Formaldehyde is an irritant to the respiratory tract and eyes, and with long-term exposure can cause serious health problems such as lung cancer.

One of the by-products of PLA is lactic acid, which is the raw material for PLA. Although it is non-toxic among the gases produced during PLA printing, it can irritate the respiratory tract if inhaled in large quantities. However, lactic acid is much less dangerous than styrene or formaldehyde.

<sup>15</sup> U.S. EPA 2024.

<sup>16</sup> WALLACE et al. 1986: 289–315.

<sup>17</sup> RIM 2023.

<sup>18</sup> Carcinogenic substances directly damage the genetic make-up of cells. These genetic defects result in the proliferation of genetically damaged cells, which accelerates the process of malignant tumour transformation.

PLA can also release small amounts of acetone during printing, although not as much as printing ABS. Acetone is irritating to the respiratory tract, skin and eyes and gives off a strong, unpleasant odour.

A compound called acetaldehyde may be released when PETG 3D printing material is used. Acetaldehyde is a relatively mild toxic gas that can also irritate the respiratory tract and eyes. Prolonged planned exposure can cause circulatory problems, headaches and dizziness.<sup>19</sup>

However, we cannot forget the harmful effects of the gases produced by metal printing, as metal-based 3D printing (e.g. titanium, aluminium, stainless steel) can also produce toxic gases, but these processes are usually carried out in industrial environments where the necessary safety standards are more stringent. It could be argued that until metal printing is affordable for the average citizen, only the risk factors in industrial areas need to be addressed and monitored. However, as the world is based on economics and the development of technology cannot be limited, it is easy to imagine that, like plastic printing, metal printing will be in several homes within a few years. But what should we look out for when printing metals:

- If the material itself, which is a metal alloy, contains lead, lead poisoning can occur during melting and dissolution. So, lead itself can be a risk factor.
- Metal printing can produce nitrogen oxides (NO; NO<sub>2</sub>; NO<sub>3</sub>) due to the high temperatures and gaseous environments, which can irritate the respiratory tract and cause long-term damage to the lungs.
- Melting metals at high temperatures can also produce ozone, which can irritate the respiratory tract.
- The toxic gases listed above (styrene, formaldehyde, acetaldehyde and ozone) can have direct and long-term adverse effects on the human body and can lead to a number of health complications. Such adverse health effects may include:
  - Respiratory irritation: In extreme cases, it may cause respiratory failure similar to choking. Long-term exposure may reduce lung function and increase the risk of respiratory diseases (e.g. asthma).
  - Central nervous system effects: Styrene and VOCs (including other volatile organic compounds) can affect the central nervous system, causing dizziness, headaches, concentration problems, sleep disturbances and fatigue.
  - Carcinogenic effects: Formaldehyde has been shown to increase the risk of developing nasal and throat cancers in particular.
  - Skin and eye irritation: This can be a problem if the room is not properly ventilated during printing.

The question arises as to how to reduce exposure to these risk factors to the lowest possible level, i.e. how to minimise the hazards. These issues are now part of occupational safety and health and, within that, of occupational safety. Since we are talking about toxic gases, the main task is to reduce the concentration, i.e. by proper ventilation, the concentration levels can be significantly reduced. Printers should be operated in well-ventilated rooms or with

<sup>19</sup> WOJNOWSKI et al. 2022.

extraction systems that remove harmful gases and particles. In industrial areas this is feasible, but in civilian dwellings this technology is often not feasible or users do not want to spend the money.

Another solution is to use enclosed 3D printing systems. Closed systems collect and filter the gases and particles emitted during printing, thus also reducing the concentration of toxic substances in the air. For such systems it can also be stated (based on experience) that in industrial areas this technological change can usually be implemented quickly, but there is limited precedent for this in private use.

If we look at occupational health and safety activities, the use of appropriate protective equipment against toxic gases can be a solution. Workers are recommended to wear protective masks (several activated carbon filter masks) and other personal protective equipment, especially when printing in enclosed, poorly ventilated spaces. In case of public use, protective equipment is rarely used, because if it is not required or the user is not aware of the health risks, he will not protect himself against the harmful effects. This is precisely the issue of compliance with regulations, but also the requirements of the various standards. Strict compliance with industry standards for additive manufacturing and workplace safety regulations is essential, not only in industrial areas but also in private homes. Toxic gases do not distinguish between the air in industrial areas and that in private homes!

## Bacterial and viral contamination risks

Additive manufacturing can be used in many fields, including healthcare, for example 3D printing of prostheses, implants or medical devices. In these devices, as in any other healthcare field, it is particularly important to maintain hygiene, i.e. to ensure that the manufacturing process takes place in a hygienic environment. Printers and the materials used, such as powders, must be handled properly to avoid the risk of infection. Why is this important? Bacterial and viral contamination can pose a serious risk in healthcare and other industrial environments, as these microorganisms can cause serious infections and diseases. Of course, in these cases, we cannot talk about private use, not only because of the costs involved, but also because of the quality assurance requirements of the products. Coming back to the area of health care use, it is of paramount importance that bacteria and viruses as contaminants can enter the environment and the human body in various ways. These microorganisms can also pose a significant risk in many industrial, medical and food applications. Appropriate hygiene and safety measures should be applied to prevent and control contamination.<sup>20</sup>

## Bacterial contamination

Bacteria are single-celled microorganisms that are found in many environments and can cause various types of infections. Sources of bacterial contamination can include humans, animals, water, air and solid surfaces. When it comes to 3D printed medical devices, prostheses and

---

<sup>20</sup> JACKSON et al. 2024.

implants, the hospital is always the bottleneck where patients are most at risk. This is logical, since that is where the surgical procedures and implantations are performed and the patient is usually returned to the civilian environment already cured. The main objective is therefore to prevent hospital-acquired infections (nosocomial infections). In healthcare institutions, bacteria can easily multiply because patients enter with weakened immune systems and doctors often use invasive devices such as catheters, surgical instruments and ventilators. The sterilisation of these devices is particularly important as they come into direct contact with the patient's body or with 3D printed objects that are to be implanted in the patient's body. Inadequately sterilised devices can harbour bacteria and cause infections, serious complications and, in extreme cases, death. Some of the most common bacterial hospital-acquired infections include *Staphylococcus aureus* (especially the methicillin-resistant variant, MRSA), *Escherichia coli*, *Clostridium difficile* and *Pseudomonas aeruginosa*.

Another common problem is food safety risk. Bacteria in food can also cause serious complications during rehabilitation or surgical treatment of patients. The most common bacteria that cause food poisoning include *Salmonella*, *Campylobacter*, *Listeria monocytogenes* and *Escherichia coli*. Despite the fact that bacterial infections are only an indirect risk in the application or use of 3D printed products, they are one of the most common risk factors in the healthcare sector and therefore, even if rare, serious consequences should be considered.

Preventing bacterial infections can be prepared for by following and enforcing several key measures together. Since these microorganisms are easily killed, the most common method of protection is regular hand washing and disinfection. Regular hand washing and disinfection is essential for medical staff and patients to minimise the spread of bacteria. Another solution is continuous sterilisation and disinfection. Medical equipment, operating theatres and other surfaces must be properly sterilised and disinfected to kill bacteria. Adherence to (enforcement of) anti-infection standards and protocols is of paramount importance. Healthcare institutions must follow strict anti-infection protocols and standards such as ISO 14644 and EN 13795. By adhering to and enforcing these standards, and by also applying the necessary drug therapy for patient treatment, patients can be spared the harmful consequences of bacterial infections when using 3D printed implants, prostheses and other ancillary devices.

## Virus contamination

A virus is a microscopic biological organism that is not cellular and can only replicate as a parasite in the cells of living organisms. Viruses, such as influenza, HIV, hepatitis and coronaviruses, can be easily spread through the air, bodily fluids, or direct contact. As with bacteria, we should also mention hospital-acquired viral infections and food and water-borne viruses.

In case of hospital-acquired viral infections, it should be seen that viruses can spread rapidly in hospitals and clinics, especially with diseases such as Hepatitis B and C, HIV and influenza viruses. Seasonal influenza virus and SARS-CoV-2 (Covid-19) can also be easily spread from patients and staff through respiratory droplet infection.<sup>21</sup>

<sup>21</sup> LONGHITANO et al. 2021: 32–34.

In case of food and waterborne viral infections, we are talking mostly about the Hepatitis A virus, which can enter the body through contaminated water or food, or on 3D printed medical accessories, devices and the aforementioned implants.

Looking at the ways viruses are transmitted, we can see that these microorganisms can be spread through the air – by droplet infection – or by direct contact (the virus can be transmitted directly by contact with the skin or mucous membranes of an infected person), or by touching already infected surfaces (for example, noroviruses, adenoviruses and rotaviruses).

Just as with bacterial infections, the spread of infection can be prevented by strict hygiene measures (regular hand washing, hand disinfection, wearing masks and other protective equipment used to prevent disease). Seasonal vaccinations are also a good protection (vaccination against influenza and other respiratory infections is a way of preventing the spread of the virus). The protection options listed above are an indirect way of promoting the use and application of the 3D medical devices mentioned above. Direct protection can be achieved by ensuring adequate ventilation and continuous air purification. It is essential for hospitals and public institutions to have adequate ventilation systems in place to minimise the risks of respiratory infections.

Of course, another solution that should never be left out when we talk about protection in healthcare facilities is disinfection. Medical devices and surfaces that could potentially be contaminated with viruses need to be disinfected regularly and this includes 3D printed supplies.

## **Biocompatibility and toxic substance risks**

The issue of biocompatibility and toxic substances is particularly important for medical devices and medical applications, as medical devices come into direct or indirect contact with the human body and affect its physiological systems. Biocompatibility means that a substance is able to interact safely with the body without causing adverse reactions, whereas the presence of toxic substances in medical devices can pose serious health risks. Additive manufacturing (3D printing) and other modern manufacturing technologies that use biocompatible materials also face a number of challenges, as they not only have to meet mechanical properties but also have to take care of biosafety and avoid toxic effects.

## **Biocompatibility in medical devices**

Ensuring biocompatibility is particularly important for implants (e.g. prostheses), surgical devices, catheters, dental devices and other medical applications where materials come into direct contact with the body or its fluids. These devices should not have any adverse effects on the body, even if they are often exposed to biological agents for long periods of time and at high levels. If the main factors of biocompatibility are taken into account, it can be stated that medical devices made by additive manufacturing techniques must fulfil the following criteria requirements:

- Cytotoxicity: The material should not have toxic effects on cells to avoid cell death or tissue damage.

- Avoidance of allergic reactions: Substances used in medical devices should not cause allergic reactions or hypersensitivity in the user.
- Carcinogenicity: Substances must not contain ingredients that are carcinogenic.
- Immunological reactions: Substances should not trigger immune responses in the body, such as inflammatory reactions or rejection, especially when implants are involved.
- Physical and mechanical stability: The material should maintain its integrity and stability in the body, and should not disintegrate or corrode.

In order to avoid biocompatibility, we must use substances that do not pose a risk to the human body. Therefore, the following materials are suitable for products made by additive manufacturing technology in direct contact with the human body:

- Titanium and titanium alloys: Titanium is highly biocompatible and is commonly used for implants (bone replacements). It is extremely well tolerated by the human body and does not trigger an immune response. The authors of this paper have not yet found any examples of titanium itself or its alloys being used in 3D printing, but it is possible to coat the surface of a manufactured product with this material.
- Polymers: Biocompatible polymers such as PEEK<sup>22</sup> (polyethylene ether ketone) and PVA (polyvinyl alcohol) can be used for the production of various medical devices (assistive surgical devices, prostheses). The biocompatibility of these materials is suitable for promoting cell growth and supporting healing processes.
- Silicone: Silicones are highly biocompatible and are often used in, for example, dental devices, implants or catheters.
- Ceramic materials: Ceramic-based materials, such as zirconia and alumina, are also biocompatible and are often used in implants and prostheses.

It should also be mentioned that there may be significant potentially toxic compounds present in the materials used in the manufacture of medical devices, especially if inappropriate materials are selected during manufacture or if biocompatibility testing is not sufficiently careful. Toxic substances cannot only damage tissues directly, but can also accumulate in the body over long-term use and lead to chronic diseases. Among the most commonly found toxic substances in medical devices are:

- Bisphenol-A (BPA): BPA is commonly used in the manufacture of plastics (e.g. polycarbonate). Although there are no immediate hazards with low toxic concentrations in many applications, BPA has been linked to long-term potential endocrine effects, reproductive disorders and cancer. BPA is often used in the manufacture of dental materials, medical devices and implants, for example, and the use of BPA-free materials is essential in the manufacture of medical devices.

<sup>22</sup> Partly crystalline plastic with excellent heat resistance. Versatile processing, extrusion, injection moulding. It has a wide range of applications, from high strength and hardness to excellent chemical and hydrolysis resistance, including hip replacements and dental prostheses.

- **Phthalates:** Phthalates – di-(2-ethylhexyl) phthalate, or DEHP – used to plasticise plastics are potentially toxic and can cause endocrine disruption. The presence of phthalates in the manufacture of medical devices such as catheters, infusion tubes and other plastic-based products is of particular concern as they can be severely toxic to the human body.
- **Silicones:** Although silicones are biocompatible and widely used in medical devices, some types, if not properly manufactured, can be contaminated with toxic substances (e.g. manufacturing by-products) that can be harmful to the body.
- **Heavy metals:** Lead, mercury and cadmium are heavy metals that can pose serious health risks in medical devices. They and other heavy metals can bioaccumulate in the body and cause a range of toxic symptoms, nervous system problems and kidney damage.
- **Formaldehyde and other chemicals:** Formaldehyde, used to solidify certain plastics and polymers, is a known toxic and carcinogenic compound.

Considering the options for protection, it can be concluded that biocompatibility risks can be protected against by targeted testing. Prior to the manufacture of medical devices, the materials used must undergo rigorous biocompatibility testing for cytotoxicity, allergic reactions, genotoxicity, carcinogenicity and other toxic effects. The material can be used if these tests indicate that the substances do not cause adverse effects in body tissues. Of course, in case of finished products, the tests must be repeated. Alternatively, the requirements of ISO 10993 standards for medical devices, including procedures for testing different types of toxic effects, must be fully complied with. However, the simplest solution is for manufacturers to use alternative materials for 3D printed products that are guaranteed to be free of harmful substances.

## **Accident and injury risks**

Additive manufacturing technology, while offering many advantages for both industrial and home applications, like all industrial processes can cause accidents and injuries. Accidents and injuries can usually be avoided with a little care and common sense, but there are also unforeseen situations and incidents that occur despite the utmost care and caution. The risk of accidents and injuries depends on a number of factors, such as the type of material being printed, the technology of the printer being used, the experience of the workers and compliance with workplace safety measures. Residential use is not an organised work, is not legally covered by health and safety obligation, but the rapid spread of 3D printing ignores this. It is also often pointed out that, while employers have obligations in the workplace, residential users do not. Consequently, there is no full spectrum control over the production process. The following is a detailed description of common accidents and injuries and their possible prevention in additive manufacturing.

## Burn injuries

The most common 3D printing technology is the FDM<sup>23</sup> – Fused Deposition Modelling – involves building a model by melting and depositing a plastic wire, layer by layer. Where the material is melted using heat, there are a number of thermal hazards, including the potential for burns. During the printing process, the table (the build surface) can reach temperatures of 100 °C, the print head (the extruder) can reach temperatures of nearly 200–300 °C, which can cause severe burns if someone accidentally comes into contact with these components.

Of course, protection against this type of risk is not too complicated. On the one hand, a set of rules must be established and, of course, observed to ensure that the user of the device does not have access to hot surfaces. This can be achieved by simple enclosures. On the other hand, a system of rules must be put in place to ensure that the operator of the device does not touch the printed product or any other part of the machine until it has cooled down. If all this does not work, there is still the option of using protective equipment, i.e. wearing heat-resistant gloves if immediate access to components is necessary.

## Injuries caused by moving parts

3D printers often have moving parts, such as extruders, stepper motors and turntables. Collision with moving parts or human error can cause serious injuries, such as finger or hand injuries. Not directly related to the most common injuries, but there is a possibility that the printing device itself is not properly positioned and the fall of the device itself causes serious injuries. Of course, examples of this can also be found in the creative placement methods used by the general public. While in the former cases, injury to the hand or fingers may also be a risk factor, in the latter, injury to the lacteal body may be a risk factor. These injuries can range from simple abrasions or sprains to severe cuts, bruises or fractures.

A possible solution is to avoid touching moving parts while the printer is in operation. If you do need to intervene in the printing process, do so when the machine is stopped and the power is off. Another solution (for large printers) is to mark moving parts with some kind of warning signal, which could be a pictogram or even an acoustic signal.

## Electronic accidents

3D printers are always powered by an electrical network via electrical equipment. The dangers of this may be familiar to even the most lay reader, as electricity and its distribution points are part of our everyday lives. The overloading of various power supplies, distribution lines and outlets is slowly becoming a common problem in everyday life. Improper handling of these

<sup>23</sup> It is also known as FFF – Fused Filament Fabrication. The technology was developed by Steven Scott Crump and his wife, Lisa Crump. According to company history, Scott wanted to make a toy frog for his daughter in 1988 with a glue gun filled with a mixture of polyethylene and candle wax. The idea only worked by creating the shape layer by layer. The toy turned out so well that he and his wife began to think about how to automate the process.

electrical appliances can lead to electric shock. Power supplies and other electrical components of printers can be dangerous if they are not properly maintained or if the user does not take care of the safety of electrical connections. In this regard, residential users should also strive to use a residual-current device/ground fault circuit interrupter in their homes. This is an electrical switching device that disconnects the network behind it if it detects a (relatively small) leakage current. Such a situation could occur, for example, if a conductor or a load becomes earthed or if someone accidentally touches live parts of the network. In this case, you will be electrocuted for the time it takes for the device to react, but the short time it takes to reach the device means that it is unlikely to cause any permanent damage.

The above-mentioned contact hazard can also be prevented by constantly checking the printer's electrical systems and cables for breaks or worn insulation. An important piece of advice is also to disconnect the power supply (not only switching it off, but also unplugging it). It is also of paramount importance to use protective plugs and other safety devices when using such devices to prevent electric shock.

## Chemical accidents

The various plastics, inks and medicines used in additive manufacturing can have harmful effects on health if not handled properly. Improper storage and fumes produced during printing can pose a hazard. Hazards include skin and eye irritation. Some materials, such as ABS, emit toxic gases (e.g. styrene) when printed due to heat, which can irritate the skin and eyes. This will of course depend on individual sensitivity, but like all irritant reactions, it can take on extreme forms.

These chemical accidents can be prevented by the constant use of protective equipment, gloves and goggles when handling chemicals and by avoiding direct contact with the printer. The importance of ventilation was highlighted at the beginning of this publication, as the risk of inhaling harmful fumes is reduced if printing activities are carried out in a well-ventilated area. The simplest solution is to comply with and require compliance with safety regulations for materials that are properly chemically separated and stored.

## Fire risk

During the operation of 3D printers, as we have already pointed out, several components can heat up and reach temperatures of up to several hundred degrees Celsius. The use of these extruders and thermocouples increases the risk of fire, especially if the operator leaves the printer table. As a significant proportion of printers (still today) use some form of plastic – such as ABS – which is particularly prone to ignition at high temperatures, the risks are real. But it is not only the inside of the printer that can create a fire hazard, the electrical network that runs it can also create a thermal effect that increases the risk of ignition. In extreme cases, if the printer is installed and operated in an inappropriate location, combustible gases, vapours or dusts may be present in the immediate vicinity of the printer and, if the parameters are not right, an explosive atmosphere may be created, the source of ignition being the heated

component of the printer itself. In the latter case, the solution may be to use appropriate ventilation. It is important to note that, to avoid the risk of fire, the printer should never be left unattended, especially if high temperature materials are used during printing. Printers should always be placed on fireproof base plates, and it should be ensured that no flammable materials are present in the printer's environment.

## Ergonomic risks

Ergonomic risks are often overlooked and not taken seriously enough as potential health hazards. 3D printing is usually a lengthy process, especially if the working conditions are not properly adjusted, and this can lead to ergonomic problems. Just think, when you watch something interesting on a monitor and do it for a long time, your neck, back or waist may indicate that your posture was not ideal during the activity. The same is true if we are printing and we have to be near a machine or machines and we are doing it in a workplace with poor ergonomics. A number of factors is needed for the ideal conditions, such as avoiding improperly adjusted furniture, inappropriate clothing, but also forced postures. Muscle aches and joint problems are an immediate sign of something that is not ergonomically perfect. Constant bending, sitting for long hours, and poorly adjusted workstations can cause back and neck pain, as well as hand and arm problems.

Addressing these problems, while simple, it can be costly. When setting up a print room, the simplest solution is to equip it with comfortable workstations, ergonomic chairs and desks. The workstation is set up to avoid excessive bending or prolonged poor posture. Even if it is hard work, regular breaks should be taken to avoid muscle fatigue and mental exhaustion.

## Summary

Although the effects of additive manufacturing on human health and the human body have been investigated, there are still no adequate benchmarks, due to the rapid expansion of additive manufacturing in recent years. As the technology has become more widespread, we have seen an increase in accidents and injuries, which leads us to conclude that, although the technology is now mature in industrial terms, users in households are not yet adequately prepared for its use.

The risks of accidents and injuries in additive manufacturing can occur in different areas, such as thermal injuries, injuries caused by moving parts, electrical shocks, chemical accidents, fire hazards and ergonomic problems. To minimise the risks, it is essential to wear appropriate personal protective equipment (gloves, goggles, protective clothing), to comply with safety measures (e.g. fire safety regulations) and to handle and maintain the machines professionally.

In addition to avoiding injuries and preventing accidents, it is also necessary to be prepared to deal with health problems associated with the use of the technology and to adapt preventive measures. It may take years or even decades of exposure to assess the adverse health effects.

Exposure to the gases, vapours, mists and dust produced by 3D printers can lead to various lung diseases and can cause mild or severe symptoms depending on individual sensitivities.<sup>24</sup> It is also important to note that the use of this technology should only be undertaken with great caution and after appropriate medical examinations, so it is worthwhile to be aware not only of the condition of the person printing (supervisor) but also of the health of people in the immediate vicinity of the printer.

The substances produced during various types of nylon printing can irritate not only the lungs but also the eyes and mucous membranes and, in extreme cases, can cause neurological damage. When printing with nylon material, CO<sub>2</sub> concentrations higher than the established limit have been measured and carbon monoxide, hydrocarbons, ammonia, caprolactam and hydrogen cyanide have been detected in various tests.<sup>25</sup>

We must not forget the skin surfaces in direct contact with different substances. Coloured filaments may contain aluminium, arsenic, zinc, copper, tin, nickel, chromium and other chemicals, and reactive oxygen forms may be generated during printing. There are also examples of ozone levels of 9 µg/m<sup>3</sup> being detected in a closed printer. The interaction of ozone with unsaturated volatile organic compounds can produce reactive products such as carbonyl compounds and secondary organic aerosols.

The development of filaments is driven by their very popular use, but this requires the use of mostly cost-effective additives such as inorganic dyes, metal particles, nanomaterials, metal-containing flame retardants, antioxidants, thermal stabilisers and catalysts. The use of these substances not only has a negative impact on the environment, but also stresses and impairs living tissues, including the human body.

The hazards of metallic powders and resin printers are also under continuous investigation, but here too the reference values are still scarce. It is certain, however, that while aluminium, chromium, nickel and cobalt can cause damage in the former case, cleaning alcohol mixed with resin can cause damage in the latter case.

We see the benefits of the technology itself every day, but we still know little about the potential application problems and adverse effects. Researchers are constantly investigating the dangers and hazards of 3D printing, but in many cases, we can still only guess at the negative effects that technological development and its explosive growth could have on the health and well-being of users and those living in the immediate vicinity of the technology.

## References

- BYRLEY, Peter – GEORGE, Barbara J. – BOYES, William K. – ROGERS, Kim (2019): Particle Emissions from Fused Deposition Modeling 3D Printers: Evaluation and Meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 655, 395–407. Online: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.070>
- GARCÍA GONZÁLEZ, Héctor – LÓPEZ POLA, Teresa (2022): Health and Safety in 3D Printing. *International Journal of Occupational and Environmental Safety*, 6(1), 14–25. Online: [https://doi.org/10.24840/2184-0954\\_006.001\\_0003](https://doi.org/10.24840/2184-0954_006.001_0003)

<sup>24</sup> GARCÍA GONZÁLEZ – LÓPEZ POLA 2022.

<sup>25</sup> MOHAMMADIAN–NASIRZADEH 2021.

- GARCIA GONZALEZ, Hector – LOPEZ POLA, M<sup>a</sup> Teresa (2023): Health and Safety in 3D Printing. In SHARMA, Ashutosh (ed.): *Advances in 3D Printing*. IntechOpen. Online: <https://doi.org/10.5772/intechopen.109439>
- GU, Jianwei – WENSING, Michael – UHDE, Erik – SALTHAMMER, Tunga (2019): Characterization of Particulate and Gaseous Pollutants Emitted during Operation of a Desktop 3D Printer. *Environment International*, 123, 476–485. Online: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.12.014>
- JACKSON, Katelin C. – CLANCEY, Erin – CALL, Douglas R. – LOFGREN, Eric (2024): 3D Printers in Hospitals: Bacterial Contamination of Common and Antimicrobial 3D-Printed Material. *BioRxiv, The Preprint Server for Biology*. Online: <https://doi.org/10.1101/2024.03.30.587440>
- KWON, Ohhun – YOON, Chungsik – HAM, Seunghon – PARK, Jihoon – LEE, Jinho – YOO, Danbi – KIM, Yoojin (2017): Characterization and Control of Nanoparticle Emission during 3D Printing. *Environmental Science & Technology*, 51(18), 10357–10368. Online: <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b01454>
- LONGHITANO, Guilherme Arthur – NUNES, Guilherme Bitencourt – CANDIDO, Geovany – LOPES DA SILVA, Jorge V. (2021): The Role of 3D Printing during Covid-19 Pandemic: A Review. *Progress in Additive Manufacturing*, 6, 19–37. Online: <https://doi.org/10.1007/s40964-020-00159-x>
- MOHAMMADIAN, Yousef – NASIRZADEH, Nafiseh (2021): Toxicity Risks of Occupational Exposure in 3D Printing and Bioprinting Industries: A Systematic Review. *Toxicology and Industrial Health*, 37(9), 573–584. Online: <https://doi.org/10.1177/07482337211031691>
- RIM, Kyung-Taek (2023): Chemicals Released from 3D Printers and the Prevention of Workers' Health: A Literature Review. *Toxicology and Environmental Health Sciences*, 15, 3–7. Online: <https://doi.org/10.1007/s13530-022-00158-1>
- U.S. EPA (2024): *Volatile Organic Compounds' Impact on Indoor Air Quality*. United States Environmental Protection Agency. Online: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic-compounds-impact-indoor-air-quality>
- WALLACE, Lance A. – PELLIZZARI, Edo – SHELDON, Linda – HARTWELL, Ty – SPARACINO, Charles – ZELON, Harvey (1986): The Total Exposure Assessment Methodology (TEAM) Study: Direct Measurement of Personal Exposures through Air and Water for 600 Residents of Several U.S. Cities. In COHEN, Yoram (ed.): *Pollutants in a Multimedia Environment*. New York: Springer, 289–315. Online: [https://doi.org/10.1007/978-1-4613-2243-6\\_13](https://doi.org/10.1007/978-1-4613-2243-6_13)
- WOJNOWSKI, Wojciech – KALINOWSKA, Kaja – MAJCHRZAK, Tomasz – ZABIEGAŁA, Bożena (2022): Real-time Monitoring of the Emission of Volatile Organic Compounds from Polylactide 3D Printing Filaments. *Science of the Total Environment*, 805. Online: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150181>



Ádám Szabó<sup>1</sup> 

# The Need to Develop a Standardised Audit Methodology for the Safety Management System

*The basic condition for the operation of plants dealing with hazardous materials is the official approval of the safety documentation, which also presents the safety management system, and its regular official inspection. There is no standardised methodology for the regular official inspection of the safety management system, so the experience and personal preferences of the person performing the inspection play a significant role in the subject matter. In this article, the author aims to analyse and evaluate the circumstances that hinder the regular inspection of safety management systems established in plants dealing with hazardous materials, based on which he proposes a methodology supporting regular inspection.*

**Keywords:** Seveso establishments, dangerous substance, safety management system, audit methodology, disaster prevention, industrial safety

## Introduction

The operation of establishments handling hazardous substances poses a significant risk to the surrounding population, as well as to the built and natural environment. As defined by László Földi and László Halász, "the operation of establishments dealing with various hazardous materials and technologies can be considered a potential source of environmental hazards".<sup>2</sup>

To control the risks arising from such potential hazards, a disaster management permit issued by the industrial safety authority is required. This permit can be initiated by submitting safety documentation, in which the operator of the hazardous establishment must – with varying degrees of documentation detail – present the safety management system (hereinafter referred to as SMS) designed to prevent major accidents. During the operational phase following receipt of the permit, the continuous maintenance and improvement of the SMS

---

<sup>1</sup> PhD student, Ludovika University of Public Service, Doctoral School of Military Engineering, e-mail: [szabo.adam@profes.hu](mailto:szabo.adam@profes.hu)

<sup>2</sup> HALÁSZ–FÖLDI 2014.

ensures a high level of protection for the environment and human life. This is supported by an analysis from the Major Accident Hazards Bureau of the European Commission's Joint Research Centre, which states that 85% of accidents can be attributed to human error and deficiencies in the safety management system.<sup>3</sup> It can thus be concluded that the SMS is one of the most important tools for preventing major accidents involving hazardous substances.<sup>4</sup>

The continuous maintenance and development of the SMS require well-planned, complex, regular internal and external inspections.<sup>5</sup> These inspections not only evaluate the design of the system but also assess its implementation in practice. The commitment of individuals involved in these processes is essential for achieving adequate safety performance. If any participant lacks proper dedication to the SMS, system performance may be compromised, increasing the likelihood of accidents involving hazardous substances. Regular official oversight serves, among other purposes, to identify such shortcomings in commitment and to prevent undesirable incidents by evaluating the safety performance of the establishment.

Experience from authority inspections indicates that many operators have not fully internalised the critical role of the SMS in maintaining safety performance. Often, after obtaining the necessary permit, the use of the SMS becomes deprioritised, resulting in a decline in the desired level of safety.

Authority supervision of establishments handling hazardous substances is carried out by the territorially competent County Government Offices at legally defined intervals as part of routine inspections. These inspections are rarely targeted specifically at the SMS, and despite being well-planned, the methodology for SMS evaluation largely depends on the inspector's professional preferences. Consequently, operators often focus on ad hoc legal expectations of the authority rather than applying a comprehensive, complex and risk-based approach.

Given the above, to establish and maintain safe operations, it would be advisable to develop and implement a standardised and complex supervisory methodology for the inspection of the SMS. In this article, the author presents the challenges of external inspection of the safety management system and proposes the development of a standardised inspection methodology to support effective supervision.

## Literature review on the challenges of auditing the Safety Management System (SMS)

The Safety Management System (SMS) is fundamentally intended to ensure safety guarantees in establishments handling hazardous substances. Its implementation covers a comprehensive, systematic and safety-conscious approach to the prevention of major accidents involving hazardous materials.<sup>6</sup> The legal background of the SMS is provided by the Seveso III Directive (2012/18/EU) and its transposition into national legislation, specifically Act CXXVIII of 2011 on disaster management and its implementing regulation, Government Decree 219/2011 (X).

<sup>3</sup> OECD 2008.

<sup>4</sup> VASS–HALÁSZ 2007.

<sup>5</sup> BOGNÁR et al. 2013.

<sup>6</sup> MITCHINSON–PAPADAKIS 1999.

20.) on the prevention of major accidents involving hazardous substances. The SMS plays a key role in ensuring safe operations, and therefore, its compliance and enforcement should be treated as a priority objective in preventing hazardous material-related accidents.<sup>7</sup>

Currently, no international standard exists for the design and maintenance of a safety management system specifically aimed at preventing major accidents. The operation of SMSs in hazardous establishments requires specific conditions,<sup>8</sup> and domestic regulations merely define the fundamental elements of such systems, which include:<sup>9</sup>

1. management commitment, safety policy, and objectives
2. organisational structure and assignment of responsibilities
3. risk assessment and prevention
4. operational control
5. change management
6. emergency planning
7. performance evaluation, audits and review

However, the relevant legal framework does not provide guidance on how companies should integrate the SMS into their broader corporate governance and regulatory systems. As a result, a wide variety of SMS implementations are observed in practice (e.g. as standalone systems, integrated into other management systems, or issued as executive instructions),<sup>10</sup> making third-party assessment a challenge that demands significant time and effort.<sup>11</sup>

A properly designed and operated SMS is a fundamental tool for preventing major accidents involving hazardous substances and maintaining safety guarantees throughout the company's operations. However, companies undergo numerous changes during operation – technological modifications, personnel shifts, evolving methods, or equipment wear and tear.<sup>12</sup> Consequently, the SMS must be continuously adapted to the dynamic nature and condition of the organisation. This continuous adaptation can only be ensured through regular, comprehensive and systemic supervisory activities.<sup>13</sup> The application of safety management systems extends beyond the field of industrial safety to all safety related regulations, of which fire protection systems play an important role in the health protection of those involved in disaster management rescue operations.<sup>14</sup>

## Challenges in maintaining the Safety Management System (SMS)

Achieving the desired level of safety performance is fundamentally dependent on the operator's commitment, which must be evident both in the design of the SMS during the planning

<sup>7</sup> MESICS – KÁTAI-URBÁN 2015a.

<sup>8</sup> MESICS – KÁTAI-URBÁN 2015b.

<sup>9</sup> VASS et al. 2016.

<sup>10</sup> HALE-BORYS 2013.

<sup>11</sup> ICAO 2013; OECD 2018.

<sup>12</sup> MESICS 2017.

<sup>13</sup> STOLZER et al. 2018.

<sup>14</sup> KANYÓ-VARGA 2016; MIHÁLY et al. 2025.

and implementation phase, and in its full operation during the operational phase. If this commitment is compromised at either stage, the risk of major accidents involving hazardous substances increases significantly.

According to available information and field experience, it is not uncommon for operators to formally establish their SMS in compliance with legal requirements, yet the implementation and practical application of the system often fall short of achieving the necessary and sufficient level of safety performance. In such cases, the SMS does not become an integral part of daily operational activities. Often, internal audits conducted by the operator fail to adequately reflect changes in safety-relevant parameters.

Operators typically perform internal audits according to their own safety culture, which may not always effectively identify non-compliances stemming from deficiencies in the system. Some companies hire external experts to support internal audits; however, even when deficiencies are detected, the implementation of corrective actions largely depends on the commitment of the management. This process, if not effectively managed, may lead to a gradual decline in safety performance.

For the above reasons, increased official supervision of SMSs in establishments handling hazardous substances is essential. This serves to strengthen managerial commitment and the overall safety culture of the facility. Therefore, it is necessary to identify those establishments and provide targeted support for the practical implementation of the SMS.

Supervision of such establishments is carried out by the territorially competent County Government Offices, in accordance with legally prescribed periodic schedules and routine inspections. According to operational experience, these inspections are not sufficiently focused on SMS-specific elements and are significantly influenced by the professional preferences of individual inspectors. As a result, operators tend to prioritise satisfying the authority's ad hoc regulatory expectations, rather than adopting a holistic, integrated and risk-based approach.

This supervisory practice often leads to a lack of awareness among operators regarding the critical importance of the SMS in maintaining safety performance. After obtaining the necessary permits, many establishments tend to neglect the ongoing operation of the SMS, which can result in a deterioration of the intended safety level.<sup>15</sup>

However, it must also be acknowledged that from the authority's perspective, conducting a comprehensive assessment of the SMS under current practices presents a significant challenge. Given that the legal framework only defines general content requirements, the SMSs of each establishment are customised to reflect their specific operational characteristics. Furthermore, to be effective, the SMS must permeate the entire organisational structure and integrate with other internal regulatory systems – yet no legal requirement ensures such integration. As a result, each SMS varies in scope and depth, depending on the operator's discretion.

Due to these factors, the thorough auditing of SMS is extremely time- and resource-intensive and cannot be realistically achieved within the framework of the current official inspection regime. Consequently, authorities are often unable to enforce the consistent

---

<sup>15</sup> CONLIN et al. 2004.

maintenance of SMS that ensure the necessary and sufficient safety performance. In such cases, safety performance depends largely on the operator's voluntary commitment. Without adequate management dedication – when operators focus solely on regulatory compliance rather than actual safety outcomes – the SMS becomes ineffective in achieving safety goals, posing a significant risk.

These risk factors influencing SMS performance are illustrated in the Figure 1.

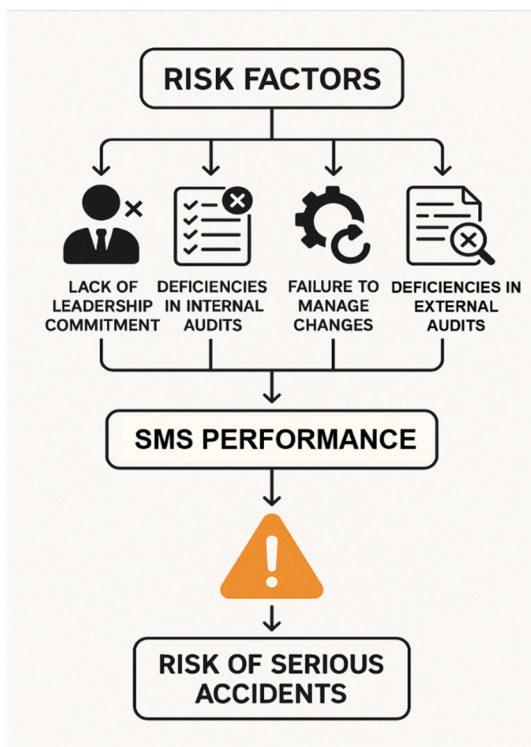


Figure 1: Risk factors affecting SMS performance

Source: compiled by the author

Identifying these establishments and enforcing the desired safety standards are essential to ensuring a high level of protection for both the environment and nearby populations.

Considering the aforementioned challenges in conducting inspections, it becomes evident that there is a need to develop a methodology capable of identifying underperforming establishments and enforcing the desired level of safety performance.

## Proposed audit methodology

As outlined above, there are multiple reasons why a safety management system (SMS) may not be properly established and/or maintained within a given company. One reason may be

that the operator lacks awareness of the knowledge required to ensure the safety performance necessary for an establishment handling hazardous substances. Alternatively, the operator may possess this knowledge but is either not motivated or not compelled to implement it. Given the potential risks to public health and the environment, such behaviour is unacceptable, and robust measures must be taken to ensure operational safety.

In Hungary, the inspection of such establishments is carried out by the territorially competent Government Offices. These authorities currently lack a standardised methodology for auditing SMSs or identifying facilities with inadequate safety performance. Consequently, inspections tend to reflect the personal preferences of the inspectors, which limits the comparability of inspection outcomes. Therefore, it is necessary to develop a standardised supervisory methodology capable of objectively assessing SMS implementation.

Regardless of the cause, any deficiency compromising the safety guarantees within a hazardous facility must be addressed promptly. From the authority's perspective, this first requires the identification of such underperforming establishments. With focused inspection efforts, a structured corrective process can be initiated. Several indicators may be used to identify these facilities, including but not limited to:

1. inadequate identification of risks during risk-based activity assessments
2. a decreasing trend in safety performance based on inspection results
3. lack of initiative toward developing or improving safety culture and SMS
4. frequent or serious regulatory violations observed in past inspections
5. detected deficiencies related to the SMS framework
6. recurring or serious accidents involving hazardous substances

These indicators may be supplemented by additional criteria that, while not definitive on their own, could suggest weaknesses in safety culture or justify increased scrutiny. Examples include public complaints, or lessons learned from accident investigations at similar establishments. In such cases, the competent authority may consider placing the operator under enhanced supervision.

To apply enhanced official oversight consistently, it is recommended to define a unified set of criteria nationwide. These criteria should include thresholds that prevent unnecessary attention to minor or irrelevant cases, thereby avoiding excessive administrative burdens. The threshold values should also be communicated to operators, reinforcing the authority's increased attention.

Identification can be based on available documentation and regular inspection results. For this purpose, a standardised form is recommended, including the basis for identification, justification, target performance indicators and other key data. This form can be updated with findings from subsequent inspections and measures taken to improve safety performance. Additionally, it can serve as a schedule for corrective actions, especially if the operator documents these activities along with target deadlines. These records should be maintained regularly until the predefined performance goals are achieved, at which point enhanced oversight can be lifted, and standard regulatory inspection procedures can resume.

After identification, corrective actions – or a combination of actions – must begin as soon as possible to restore the required safety performance. Before initiating these actions, the operator's capacity and willingness to comply should be assessed, and the selected measures tailored to the specific facility. The chosen approach must effectively motivate the operator while ensuring that the scale of intervention is proportionate to the severity of deficiencies and the operator's attitude and objectives. Simultaneous enhancement of both safety performance and safety culture is essential. The following tools can support this process:

- consultations between the operator and the authority
- joint discussions between the operator and the authority or expert involvement to identify best practices
- increased inspection frequency and duration
- unannounced inspections
- documented evidence for critical SMS elements (similar to critical infrastructure documentation)
- development of an action plan with prioritised tasks and deadlines (especially in complex cases)
- enforcement actions such as fines or legal proceedings

It is crucial to emphasise that the primary aim is to restore the desired level of safety performance and to improve the operator's overall safety culture. Corrective actions can only succeed if the company's leadership is genuinely committed. Therefore, collaborative, communication-based measures should always be the first step. Sanctions should only be applied as a last resort. These interventions must be approached with sensitivity, as they could potentially put the operator at a competitive disadvantage. Hence, corrective strategies should be developed in cooperation with company leadership, including deadlines acceptable to both parties. This ensures that corrective measures can be implemented effectively without jeopardising business continuity. The results of such action plans can be documented and verified during follow-up inspections.

Effective coordination and implementation of this methodology depend heavily on the competence of the authority's case officers and the independence of all participants in the inspection and support process. To ensure these conditions, the establishment of a support unit under the National Directorate General for Disaster Management (NDGDM) is recommended. This unit would be responsible for developing the criteria for a unified methodology, training staff from both the Government Offices and the relevant companies, and assisting in the formulation of corrective action plans. Each action item should be assigned to a responsible party and a deadline to ensure verifiability. Follow-up inspections should be carried out by trained officers, thus ensuring impartiality. With this structured supervisory framework, it would be possible to identify underperforming hazardous establishments and continuously improve their safety performance. Once the desired safety level has been achieved, the operator's enhanced supervisory status can be revoked, and regular inspection protocols re-applied. This proposed supervisory model aligns with the principles of a 'service-oriented'

public administration and reflects the recurring demand for standardised methodologies often voiced in professional forums and conferences.

## Conclusion

The primary safeguard for hazardous establishments lies in their Safety Management System (SMS), which is subject to official inspection along with the safety documentation. The current legal framework defines only the main components of the SMS but does not provide specific requirements regarding its structure or detailed content. As a result, many operators of hazardous establishments remain uncertain about the exact expectations related to the SMS. Typically, they attempt to develop an SMS that fits their own organisational structure and operational context, which leads to significant variability in both the form and content of the systems across operators. Due to this ambiguity, in many cases the SMS appears merely as a formal element of the safety documentation – lacking the underlying safety culture. In such scenarios, although the SMS may be reviewed and approved together with the safety documentation, it is either not implemented or only partially applied in practice, ultimately impairing safety performance. Especially in these establishments, the dynamic nature of industrial operations is often not matched by a timely reassessment of the SMS's relevance and applicability, leading to outdated content and a further decline in already insufficient safety performance.

Auditing SMSs that differ significantly in both form and content requires substantial effort from authorities. Currently, there is no unified methodology for the official inspection of SMSs, and the areas of focus are heavily influenced by the inspector's individual professional preferences. Moreover, the time available for routine on-site inspections is severely limited, offering only restricted capacity to thoroughly assess both the documentation and the practical implementation of the SMS. As a result, the comprehensiveness and effectiveness of the SMS are shaped predominantly by the operator's leadership commitment and prevailing safety culture. Where such commitment is lacking, the gradual degradation of safety performance often goes undetected and cannot be corrected through existing oversight mechanisms.

Given these limitations, the development of a standardised and complex audit methodology is advisable to enforce the expected level of safety performance across all hazardous establishments in the country. According to the proposed approach, operators whose SMS deficiencies indicate a persistent safety risk must first be identified. Following identification, these establishments can be targeted for intensified official control and continuous monitoring. However, this supervisory activity can only be effective if it is based on improving the operator's internal safety culture and is supported by active collaboration with the authorities.

## References

BOGNÁR, Balázs – KÁTAI-URBÁN, Lajos – KOSSA, György – KOZMA, Sándor – SZAKÁL, Béla – VASS, Gyula eds. (2013): *Iparbiztonságtan I.* Kézikönyv az iparbiztonsági üzemeltetői és hatósági feladatok ellátásához. Budapest: Nemzeti Köszolgálati Egyetem.

- CONLIN, Helen – BRABAZON, Philip G. – KING, Lee (2004): Exploring the Role and Content of the Safety Case. *Process Safety and Environmental Protection*, 82(4), 283–290. Online: <https://doi.org/10.1205/095758204323162300>
- HALÁSZ, László – FÖLDI, László (2014): *Környezetbiztonság*. Budapest: Nemzeti Közszerológati Egyetem. Online: <https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/20.500.12944/100403/562.pdf?sequence=1>
- HALE, Andrew – BORYS, David (2013): Working to Rule, or Working Safely? Part 1: A State of the Art Review. *Safety Science*, 55(1), 207–221. Online: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.05.011>
- ICAO (2013): *Safety Management Manual (SMM), Doc 9859*. International Civil Aviation Organization.
- KANYÓ, Ferenc – VARGA, Ferenc (2016): Sportcsarnoktűz a Testnevelési Egyetemen. *Védelem Katasztrófavédelmi Szemle*, 23(1), 47–49.
- MESICS, Zoltán (2017): A biztonsági irányítási rendszerek hatékonyságának fejlesztése: karbantartási rend. *Bolyai Szemle*, 26(2), 72–91.
- MESICS, Zoltán – KÁTAI-URBÁN, Lajos (2015a): Veszélyes üzemi biztonsági irányítási rendszer működtetése. *Hadmérnök*, 10(1), 99–107.
- MESICS, Zoltán – KÁTAI-URBÁN, Lajos (2015b): Biztonsági irányítási rendszer értékelése. *Hadmérnök*, 10(1), 108–118.
- MIHÁLY, István – BÉRCZI, László – BOGNÁR, Balázs – KÁTAI-URBÁN, Maxim – TÓTH, Levente – KÁTAI-URBÁN, Lajos – VASS, Gyula – VARGA, Ferenc (2025): Experimental Study to Determine the Leakage Area of Single-Leaf Smoke Control Doors in the Design of Pressure Differential Systems. *Fire*, 8(1). Online: <https://doi.org/10.3390/fire8010005>
- MITCHINSON, Neil – PAPADAKIS, Georgios (1999): Safety Management Systems under Seveso II: Implementation and Assessment. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 12(1), 43–51. Online: [https://doi.org/10.1016/S0950-4230\(98\)00036-9](https://doi.org/10.1016/S0950-4230(98)00036-9)
- OECD (2008): *Guidance on Developing Safety Performance Indicators Related to Chemical Accident Prevention, Preparedness, and Response*. Paris: Organisation for Economic Cooperation and Development, Environment Directorate.
- OECD (2018): *Safety Management Systems. History, Implementation and Effectiveness*. Paris: OECD Publishing.
- STOLZER, Alan J. – FRIEND, Mark A. – TRUONG, Dothang – TUCCIO, William A. – AGUIAR, Marisa (2018): Measuring and Evaluating Safety Management System Effectiveness Using Data Envelopment Analysis. *Science Direct*, 104(1), 55–69. Online: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.12.037>
- VASS, Gyula – HALÁSZ, László (2007): Assessment of the Land-use Planning Practices Applied in the Vicinity of EU Seveso Establishments. *AARMS*, 6(1), 77–88.
- VASS, Gyula – MESICS, Zoltán – KOVÁCS, Balázs (2016): *Útmutató a biztonsági irányítási rendszerekkel kapcsolatban a SEVESO III. irányelv hazai bevezetésével módosuló jogszabályi előírások végrehajtásához*. Budapest: BM OKF.



# Tartalom

|                                                                                                                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| KOVÁCS FERENC, HAJÓS BENCE: <i>Meglévő közúti hidak teherbírási megfelelőségének értékelése honvédelmi szempontból a katonai célú közlekedésfejlesztési feladatok tükrében</i>                           | 5   |
| BALLA TIBOR, PADÁNYI JÓZSEF: <i>Műszaki kiválóságok: Kőszeghi-Mártony Károly vezérőrnagy</i>                                                                                                             | 19  |
| VÉGH KRISZTIÁN: <i>A honvédelmi szempontból fontos infrastruktúrák drónvédelmének kérdései</i>                                                                                                           | 29  |
| HORVÁTH ZOLTÁN: <i>A éghajlatváltozás hatása az energetikai infrastruktúrákra – stratégiai szabályozók és szakpolitikák elemzése</i>                                                                     | 41  |
| HORVÁTH KRISZTIÁN: <i>A lánctalpas futóművű járművek zaj- és rezgésszimulációja</i>                                                                                                                      | 63  |
| BRENDA DALMA BARBARA, KANYÓ FERENC, HORVÁTH GALINA, VÁSÁRHELYI-NAGY ILDIKÓ: <i>A reakciókészség fejlesztése megkülönböztető jelzést használó gépjárművezetők körében BlazePod segítségével – 1. rész</i> | 73  |
| HORVÁTH ISTVÁN: <i>A gammakitöréshosszúság-adatok vizsgálatainak ellenőrzése a CGRO T50 időtartamok használatával</i>                                                                                    | 97  |
| ONDREJCSIK LÁSZLÓ, HÁBERMAYER TAMÁS, RÉVAI RÓBERT, VASS GYULA: <i>Az ITER nemzetközi mágneses fúziós kutatási-fejlesztési projekt bemutatása szervezeti és működési aspektusból</i>                      | 107 |
| NORBERT DARUKA, KÁLMÁN DÉNES, ZOLTÁN KOVÁCS, RÓBERT VÉG, ISTVÁN EMBER: <i>Health Risks of Additive Manufacturing Technology</i>                                                                          | 117 |
| ÁDÁM SZABÓ: <i>The Need to Develop a Standardised Audit Methodology for the Safety Management System</i>                                                                                                 | 133 |