



MŰSZAKI KATONAI KÖZLÖNY

Kiemelt közlemények

BUNYITAI ÁKOS, DARUKA NORBERT:
*Építményszerkezetek robbantással történő
ipari bontásának, katonai tönkretételének
és bűnös szándékú rongálásának
összehasonlítása*

ÁMON GERGELY, BENE KATALIN: *Villámárvizek
kialakulásának bizonytalansági vizsgálatai
feltáratlan vízgyűjtőkön*

BALLA TIBOR, PADÁNYI JÓZSEF: *Műszaki
kiválóságok: vitéz dálnokfalvi Bartha Károly
vezérezredes*

33. évf. (2023)
4. szám

ISSN 2063-4986 (elektronikus)



LUDOVIKA
EGYETEMI KIADÓ

Műszaki Katonai Közlöny

A Nemzeti Közszolgálati 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

Hanka László

Hornyacsek Júlia

Horváth Tibor

Kovács Tibor

Kovács Zoltán

Kuti Rajmund

Lőrincz Árpád

Pavel Manas

Nagy Rudolf

Tóth Rudolf

Szerkesztőség címe

Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Művelési Támogató Tanszék

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

Levelezési cím: 1581 Budapest, Pf. 15

E-mail: kovacs.zoltan@uni-nke.hu

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

Kiadó

Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Ludovika Egyetemi Kiadó

Kapcsolat: www.ludovika.hu; kiadvanyok@uni-nke.hu

1083 Budapest, Ludovika tér 2.

A kiadásért felel: Deli Gergely rektor

Olvasószerkesztők: Bujdosó Hajnalka, Gergely Zsuzsánna, György László

Tördelőszerkesztő: Fehér Angéla



Tartalom

Bunyitai Ákos, Daruka Norbert Építményszerkezetek robbantással történő ipari bontásának, katonai tönkretételének és bűnös szándékú rongálásának összehasonlítása	5
Ámon Gergely, Bene Katalin Villámárvizek kialakulásának bizonytalansági vizsgálatai feltáratlan vízgyűjtőkön	21
Balla Tibor, Padányi József Műszaki kiválóságok: vitéz dálnokfalvi Bartha Károly vezérezredes	37
Ádám Balázs Mesterséges intelligencia a tűzserész feladatokban – Tűzserész Támogató Információs Rendszer szoftveres alapjai, 3. rész	49
Sibalin Iván, Kátai-Urbán Lajos, Cimer Zsolt A geomérnökség lehetséges energiaipari-biztonsági vonatkozásai a környezeti fenntarthatóság keretrendszerében.	63
Vég Róbert László A 4D nyomtatás és az okosanyagok alkalmazásának lehetőségei	77
Huszár Zsolt, Majorosné Lublói Éva Eszter Homlokzati állványtüzek	91
Horváth-Kálmán Eszter, Elek Barbara, Bodnár László, Komlai Krisztina Építési kockázatok és kezelésük nukleáris létesítmények környezetében	103
Flóra Hajdú, Péter Mika, Péter Szalai, Rajmund Kuti Road Profile Modelling Based on Measurement for Fire Truck Simulation	117
Csaba Almási Evolution of the Regulation of the Transport of Dangerous Goods by Road, Part 2	131
Gábor Kerék, Enikő Anna Tamás, Dorottya Szám The Incision of the Riverbed on the Upper Hungarian Danube and the Rába, in the Region of the Confluence of the Moson-Danube	141

Bunyitai Ákos,¹  Daruka Norbert² 

Építményszerkezetek robbantással történő ipari bontásának, katonai tönkretételének és bűnös szándékú rongálásának összehasonlítása

Comparison of Industrial Explosive Demolition, Military Destruction and Malicious Damage to Structures

Az építmények és szerkezeti elemek robbantásánál nem releváns, hogy milyen robbanóanyagot vagy robbanás kiváltására alkalmas szerkezetet használunk, ha a cél a kijelölt objektum bontása, tönkretétele vagy szélsőséges esetben rombolása. Szinte mindenki tökéletesen el tudja különíteni az ipari robbantásos építménybontás, a katonai rombolás, illetve a bűnös szándékú szabotázsakciók eseménysorát. Abba azonban kevesen gondolnak bele, hogy ha különböző szempontrendszerek szerint vizsgáljuk ezeket a tevékenységeket, akkor hasonlóságokat fedezhetünk fel. A hasonlóságokat összevetve pedig már kirajzolódik az a „szürke zóna”, amely alapján a jogszabályalkotók olyan előírások betartására kötelezik a robbantási szakterületek munkáltatóit, hogy a különböző kockázatot jelentő anyagok nyomon követhetőségét biztosítsák. Célul tűztük ki, hogy megvizsgáljuk az ipari, katonai és terrorjellegű robbantásokat egy olyan szegmensben, ahol mindhárom téma-terület érintett, mégis a legrelevánsabb feladatokat a polgári robbantási tevékenység képviseli.

Kulcsszavak: robbantás, ipari bontás, katonai rombolás, bűnös célú rongálás, szabotázs

In the case of the demolition of buildings and structures, the explosive or explosive device used is irrelevant if the aim is to demolish, destroy or, in extreme cases, damage the designated object. Almost everyone can perfectly distinguish between the sequence of events of industrial demolition, military ruin and unlawful sabotage. However, few people realise that if we look

¹ Okleveles biztonságtechnikai mérnök, robbantástechnikai szakmérnök, e-mail: bunyitai.akos@gmail.com

² Robbantástechnikai szakmérnök, e-mail: daruka.norbi@gmail.com

at these activities from different perspectives, we can discover similarities. And when these similarities are compared, a 'grey zone' emerges whereby legislators are imposing requirements on employers in the explosives industry to ensure traceability of the various risk materials. We set out to examine industrial, military and terror-related blasting in a segment where all three subject areas are involved, yet the most relevant tasks are represented by civilian blasting activities.

Keywords: *demolition, industrial demolition, military ruin, malicious damage, sabotage*

Bevezetés

A robbantástechnika, a biztonságtechnika és a kritikus infrastruktúrák védelmének tervezési tapasztalataira támaszkodva állítottuk össze azt a mátrixot, amely véleményünk szerint megfelelő alapot adhat a vizsgálatok elvégzéséhez. Kutatásunk kezdetén – részben tévesen – azt feltételeztük, hogy az építményszerkezetek robbantással történő ipari bontásával kapcsolatos ismeretek segítenek átlátni és megérteni a bűnös szándékú építményrobbantások metodikáját, munka- és időszükségletét. Továbbá feltételeztük azt, hogy az információk birtokában fokozhatjuk a robbantás elleni védelem hatékonyságát, a robbantás megelőzési valószínűségének fokozását, illetve az esetlegesen bekövetkező robbanás élő és élettelen dolgokra gyakorolt káros hatásának mérséklését. A kutatómunka során felhasználtuk azokat a számunkra is elérhető releváns információkat, amelyek rávilágítottak a robbanóanyagok ipari, katonai és bűnös célú felhasználásának hasonlóságaira, illetve különbségeire. Jelen tanulmány nem tárgyalja a rendőrségi, terrorelhárító és egyéb célú robbantásos cselekményeket.

A robbanóanyagok építményszerkezetekkel szembeni alkalmazásának célja

A robbanóanyagok építményszerkezetekkel szembeni felhasználásának célja az ipari robbantástechnikában legtöbbször az építmény munkagéppel, illetve kézi erővel történő elbontásának elősegítése a veszélyes és költséges munkakörülmények (például ipari alpinfeladatokat igénylő) előre tervezett, gyors és biztonságos kiiktatásával, a szerkezetek megfelelően kezelhető méretű darabolásával. Ezt „robbantással történő ipari bontásnak” nevezhetjük. Célja a megrendelő (tulajdonos vagy felhatalmazottja) és a vállalkozó közti írásbeli szerződésben rögzített szándéknyilatkozat alapján egyértelmű. Itt tehát „robbantással történő ipari bontási” feladatról beszélhetünk. Hazai és nemzetközi viszonylatban is számos példát találunk arra, hogy a költséghatékonyság, a környezet (por) terhelése, a bontási munkálatok időszükséglete miatt előnyben részesítik a robbantásos építménybontást.

A katonai felhasználás célja legtöbbször – egyértelmű írásbeli vagy szóbeli parancsra – az épületszerkezet tönkretétele, vagyis olyan szintű károsítása, amely során eredeti funkcióját – javítás, helyreállítás nélkül – nem tudja betölteni. „Az esetek többségében az akció

eredményét nem az okozott fizikai károk nagyságával, hanem a kijavításukhoz szükséges idővel mérjük.”³ Katonai robbantások végrehajtása során a harci cselekmények kedvező befolyásolása érdekében történik az építményszerkezet robbantása, rombolása például utánpótlási útvonalak csomópontjainak használhatatlanná tétele, az átcsoportosítások akadályozása érdekében hidak és átkelőhelyek rombolása, de ide sorolhatjuk személy(ek) célzott kiiktatásának érdekében végzett építményrombolásokat is. Prof. Dr. Lukács László így fogalmaz:

„Az építmények harcászati célú robbantását a leggyakrabban a városharc során hajtják végre torlaszok létesítése céljából. Visszavonulás során a magas épületeket, kéményeket, tornyokat is rombolják, hogy az azokat elfoglaló ellenség ne tudja felderítésre vagy tüzéségi figyelőként használni. Többemeletes épületeknél – például az idő rövidsége miatt – gyakran csak a belső szinteket robbantják le, hogy egy esetleges ellentámadás során a védők ne használhassák ezeket tüzelőálláskén.”⁴

Az ipari alkalmazással szemben itt nem cél, hogy a robbantás után ne maradjon életveszélyes a szerkezet, vagy hogy gépi, illetve kézi erővel biztonságosan és hatékonyan tovább bontható legyen. Itt tehát „katonai célirányos rombolásról” van szó.

A robbanóanyagok bűnös szándékú felhasználásának célja és végkimenetele nem ennyire egzaktságra és nem feltétlenül egyértelmű, hiszen széles skálán mozoghat a közrend, köznyugalom megzavarásától az építmény funkciójának eliminálásán át a szerkezeti elem leküzdéséig vagy akár az építmény helyreállíthatatlan mértékű károsításáig. Nagyon fontos az ilyen robbantások esetén, hogy az elkövető a robbantás széles spektrumú hatásának sok esetben nincs tudatában. Ilyenek tipikusan a terrorista jellegű robbantások, személy(ek) célzott kiiktatását célzó rombolások, illetve a robbantással elkövetett szabotázs stb. A kivitelezés történhet belső – vallási, politikai, illetve megtorló – indíttatásból vagy külső nyomásra, akár kényszerre is. A robbanóanyag vagy a robbanószerkezet felhasználásának fókuszja ebben az esetben a szándékos károkozás, vagyis a „bűnös célú” megvalósítás. A merénylet(ek) célpontját tekintve nem szorul korlátok közé, az urbanizált környezetben elhelyezkedő létesítmények épp olyan veszélynek vannak kitéve, mint az egyedi elhelyezkedésű, mindentől távol eső építmények például katonai bázisok. Az építményszerkezeteknél alkalmazott, bűnös célú robbantások esetében maga az indok az, amely megkülönbözteti a különböző merényleteket. Ezek közé tartoznak a:

- kiszámíthatatlan hatású terrorrobbantások, amelyek során többek között a helyszínen tartózkodó személyek és járművek számának és elhelyezkedésének függvényében a merénylet döntésének megfelelően élesítik és indítják a robbanóanyagot, robbanószerkezetet;⁵

³ BONSIGNORE 1984: 38.

⁴ LUKÁCS 2023.

⁵ DARUKA 2010: 3.

- bizonytalan kimenetelű, szabotázsjellegű támadások, amelyek következtében az építmény vagy építményszerkezet teljes vagy részleges funkcióvesztése megy végbe, s amelyeket kisleletett és/vagy időzített robbanószerkezettel kiviteleznek;⁶
- merényletcélú rombolások, amelyek során a támadás kivitelezése egyértelműen a kiszemelt célpont(ok) kiiktatására irányul, és ezt úgynevezett csapdásított robbanószerkezetek⁷ alkalmazásával érik el;⁸
- a faláttörések, illetve nyílászárók robbantással történő megbontása. Ebben az esetben a célszemély vagy céltárgy megközelítése a fő motiváló tényező. Ez a speciálisnak nevezhető robbantási típus már nagy tudást és szakértelmet igényel.⁹

Az ipari robbantásokat szakmai elvek, jogszabályok és rendeletek szorítják keretek közé bárhol a világon. A hazai szabályozás jelen esetben nagyon egyszerű, hiszen a 27/2022. (I. 31.) SZTFH rendelet az Általános Robbantási Biztonsági Szabályzatról teljes mértékben lefedi az adott területet.

A katonai felhasználást – sok egyéb mellett – köti a genfi egyezmény 1977-es első kiegészítő jegyzőkönyve, amelynek 56. cikkelye kimondja:

„A veszélyes erőket tartalmazó üzemek vagy berendezések, nevezetesen gátak, töltések és áramszolgáltató atomerőművek ellen akkor sem szabad támadást intézni, ha azok katonai célpontot képeznek; amennyiben a támadás veszélyes erőket szabadíthat fel, és ennek következtében súlyos veszteségeket okozhat a polgári lakosság körében. Az ilyen művek, vagy berendezések mellett, illetve közelében levő más katonai célpontok ellen sem szabad támadást intézni, ha a támadás az érintett művekből, vagy berendezésekből veszélyes erőket szabadíthat fel, és ennek következtében súlyos veszteségeket okozhat a polgári lakosság körében.”¹⁰

A terrorjellegű robbantások esetében, ha megvizsgáljuk a jogi környezetet, akkor csak a büntetési tételek azok, amelyek megtalálhatók bárhol a világon. Az aszimmetrikus hadviselés során a „gyengébb” technikai felszereltségű, a kevesebb kiképzést végrehajtó, általában a megszállt területeken harcoló fél fegyvere, módszere a megszállókkal szemben. Idetartoznak az öngyilkos merényletek, a bombatámadások, az utánpótlási vonalak és a szállítási útvonalak rombolásai, valamint az ellenség ellátásának, utánpótlásának akadályozása egyéb akciókkal. Azok, akik ezt a hadviselési formát alkalmazzák, egyszerű, gyakran szokatlan eszközöket vetnek be igen nagy eredménnyel, kihasználják a szembenálló fél erejét mint annak fő gyengeségét. Arra törekszenek, hogy minimális erőbefektetéssel maximális eredményt

⁶ KOVÁCS 2013: 118.

⁷ A csapdásított robbanószerkezeteket úgy alkották meg, hogy egy külső behatásra lépjenek működésbe mozdítással, nyitással, húzással, nyomással, elektromos szerkezetek rendeltetészerű használatával, rejtett fotocella vagy fénydióda alkalmazásával stb.

⁸ DARUKA 2013a: 7.

⁹ SZALKAI 2023: 1–8.

¹⁰ 1989. évi 20. törvényerejű rendelet a háború áldozatainak védelmére vonatkozóan, 56. cikkely.

érjenek el. A kis méretű, gyakran csak 2-3 főből álló terrorista sejtek fő fegyvere a gyors döntéshozatal és a rejtőzködés képesség. Nem szemtől szemben veszik fel a harcot, mivel nem rendelkeznek kellő katonai képességekkel, viszont minden lehetőséget megragadnak, ami csak elősegíti sajátos céljaik megvalósítását. Sajnos a technológiai fejlődés még jobban elősegíti tevékenységüket, hiszen gyorsabban és többnyire pontosabb információkkal képesek bűnös szándékaikat megvalósítani.

A robbantás előkészítése

A robbantást minden esetben információszerzés, tervezés, előkészítés kell hogy megelőzze, függetlenül annak céljától. A polgári robbantástechnika területén tájékozódni szükséges a robbantás tárgyáról, vagyis arról, hogy milyen szerkezetet, milyen építményt robbantunk. Ehhez ki kell választani a célnak megfelelő robbanóanyagot, meghatározni a töltetek elhelyezését – például a lyuktávolságot, a sortávolságot, a sorok számát és mennyiségét, illetve az építmény és a töltetek elhelyezésének előkészítési feladatait –, a gyengítéseket, az erősítés „kapaszkodó” felület kialakítását, a robbantólyukak átmérőjét és hosszát.

A polgári, ipari robbantások előre tervezettek, engedélyezettek, felügyeltek és nyomon követhetők.¹¹ „Az építmények előkészítése és a robbantási folyamat káros hatásainak kiküszöbölése is pontos tervezést és gyakorlatot igényel. A legfontosabb káros hatások küszöbértékeit a szükséges jogszabályok rögzítik, és a feladatok végrehajtásánál a szakhatóságok ellenőrzik.”¹² A robbantással bontandó építményről ideális esetben széles körű információk állnak rendelkezésre (például engedélyezési és kiviteli tervek, fényképek, leírások, ott dolgozók emlékei), illetve van lehetőség helyszíni szemlére, a tervdokumentációk tartalmának feltárással történő ellenőrzésre, szükség esetén – fémszerkezetek robbantásánál – próbarobbantás elvégzésére is. Mueller Othmár felhívta a figyelmet, hogy „nehézségeket okoz, hogy a három-négy évtizeddel ezelőtt vagy még régebben épült vasbeton-épületek tervei sokszor hiányosak, esetenként nem is lelhetők már fel”.¹³ A robbantási feladat elvégzéséhez érvényes és hatályos bontási hatósági engedély (Bányafelügyelet, Katasztrófavédelem), a közelben lévő közművek engedélye, tulajdonosi hozzájárulás, a lakók és ott dolgozók előzetes tájékoztatása szükséges. Az engedélyeztetéshez kiviteli tervek és műszaki leírás készül statikus közreműködésével. A robbanóanyag-felhasználás tervezett időpontját be kell jelenteni a bányafelügyeletnek, a felhasználás helye szerint illetékes vármegyei rendőr-főkapitányságnak, települési önkormányzat jegyzőjének és környezetvédelmi hatóságnak, továbbá épület vagy építmény robbantása esetén a hivatásos katasztrófavédelmi szerv területi szervének.¹⁴ Az engedélyezési eljárás során

¹¹ 28/2022. (I. 31.) SZTFH rendelet a polgári felhasználású robbanóanyagok forgalmazásáról és felügyeletéről.

¹² DARUKA 2011: 9.

¹³ MUELLER 1971: 87.

¹⁴ 28/2022. (I. 31.) SZTFH rendelet 5. §.

„az életet, testi épséget, egészséget, a környezet élővilágát, a vagyonszükséglet veszélyeztető polgári robbantási tevékenység, vagy robbanóanyag-forgalmazás megkezdését, folytatását a bányafelügyelet megtilthatja, továbbá korlátozhatja vagy megtilthatja a polgári robbantási tevékenység végzését, a robbanóanyag-forgalmazás megkezdését, folytatását”.¹⁵

A robbantási feladat végrehajtását megelőzően, akár több hónapos előkészítés is szükséges lehet, amely magában foglalja többek közt az építményszerkezet előkészítését (gyengítés, erősítés, „kapaszkodó” kialakítás), a közeli objektumok (lakóházak, közművek stb.) állagfelmérését és szükség esetén bevédését, a repesz- és porvédelem kialakítását, valamint a töltetelhelyezés előkészítését (jellemzően fúrási munkák), a védőtávolságok figyelembevételével a területzárást is.

Teljesen más képet mutatnak a katonai jellegű robbantások, hiszen azok nem feltétlenül előre tervezettek. A robbantással bontandó építményről jellemzően mérsékelt részletességű információk állnak rendelkezésre, feltárássra, illetve próbarobbantásra korlátozottan van lehetőség. Harci cselekmények közben sem hatósági engedélyeztetésre, sem tulajdonosi hozzájárulásra nincs szükség vagy lehetőség. Kiviteli tervek és műszaki leírás a vonatkozó szabályzatok alapján készülhetnek, illetve bizonyos tipizált építményekre vonatkozóan rendelkezésre állnak. A feladat függvényében, lehetőség szerint végezhető, de nem minden esetben kivitelezhető az építményszerkezet előkészítése, a töltetelhelyezés előkészítése, a por- és repeszvédelem kialakítása, a közeli objektumok állagfelmérése és bevédése, a „polgári lakosság” tájékoztatása, illetve a területzárás sem. Ezen feladatok elvégzése a harci cselekmények függvényében sok esetben erősen korlátozott vagy ellehetetlenül. „Az épületek rombolásának fokát és robbantási módját a kitzűzött feladat, a rendelkezésre álló robbanóanyag, valamint az idő határozza meg.”¹⁶

A bűnös szándékú/terrorjellegű robbantások jellemzően előre tervezettek (ide nem értve a véletlen robbantásokat, például instabil, házi készítésű robbanóanyag spontán reakcióját). A robbantás célpontjára vonatkozóan akár széles körű ismeretekkel is rendelkezhetnek (például a belső elkövető által szolgáltatott információk által),¹⁷ de – feltételezhetően – általában ezek az információk nem teljes körűek. Az ilyen jellegű robbantásokat – jellegüknél fogva, értelemszerűen – nem engedélyeztetik, a tulajdonos nem járul hozzá a végrehajtáshoz, repesz- és porvédelem fel sem merül lehetőségként, a közeli objektumok (lakóházak, közművek stb.) állagfelmérése és bevédése nem történik meg, a lakók, az ott dolgozók részére nem történik előzetes bejelentés. Egy-egy átgondolt támadás arra enged következtetni, hogy kiviteli terv és anyagszükséglet (műszaki leírás) ugyanakkor készül, még ha nem is engedélyezési részletezettségű. Az építményszerkezetek előkészítésére nem, vagy csak kis mértékben van lehetőség, és ugyanez a jellemző a töltetelhelyezés előkészítésére vagy próbarobbantás elvégzésének esetében is.

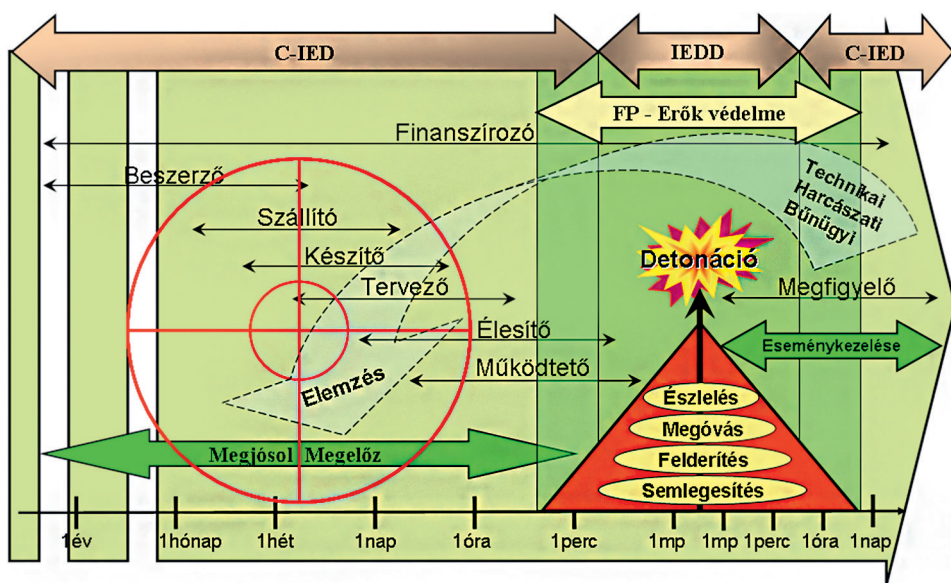
A terrorjellegű robbantásoknál a robbantás megtervezése és végrehajtása között számos olyan folyamat valószínűsíthető, amely megnehezíti magának a terrorista sejtnek, szervezetnek

¹⁵ 28/2022. (I. 31.) SZTFH rendelet 7. § (2).

¹⁶ Mú/213 1971: 177.

¹⁷ BUNYITAI 2023: 51.

a beazonosítását, felderítését. A következő ábra jól szemlélteti, hogy milyen lépéseknek kell megvalósulni addig, amíg egy robbantásos támadás bekövetkezik. Megfigyelhető, hogy számos olyan közreműködő is megtalálható a szervezetben, akik lehet, hogy nem is tudják, hogy mit és miért tesznek. Egy beszerző, akinek csak az a feladata, hogy az adott „bevásárlólista” alapján összeszedje az adott kellékeket, nem tudhatja, hogy éppen azt mire és mikor akarják felhasználni. A szállító is lehet egy egyszerű futár, aki „csak” egy csomagot visz el a megadott címzethez, a tartalmára vonatkozó információk nélkül.



1. ábra Bűnös szándékú robbantások időskálája

Forrás: DARUKA 2013b: 98.

Azáltal, hogy a merényletek kivitelezése már nem lenne megoldható nagyobb szervezeti kialakítás nélkül, a kikerülő információk is, amelyek megghiúsíthatják a kitűzött célt (robbantásos merénylet), a szervezettel arányos módon növekednének. Egy sikeres támadás kivitelezéséhez három nélkülözhetetlen elem szükséges:

- a robbanóanyag, illetve az azt tartalmazó robbanószerkezet;
- a személyek, akik elkészítik, szállítják, elhelyezik, működtetik a szerkezeteket;
- a megfelelő forrás, amely a teljes folyamat gazdasági háttérét biztosítja.¹⁸

Most nézzünk meg egy másik szempontot, ami a robbantások előkészítése során különösen fontos tényezőnek számít. Ez nem más, mint a fúrás technika, vagyis a tökéletes kivitelezéshez szükséges robbanóanyag-mennyiség elhelyezéséhez kialakított furat. Meg kell jegyezni azt

¹⁸ DARUKA 2013b: 96–100.

is, hogy ebből a szempontból a fojtásnak¹⁹ épp olyan fontos a jelentősége, mint a fúrólyukak méretének, mennyiségének, illetve sűrűségének.

Épületek, illetve belső terekben végzett épületszerkezeti elemek robbantásainál a várható káros környezeti hatások csökkentése mindig elsőrendű követelmény. A robbantási munka előkészítésénél figyelembe kell venni a környezet minden részletre kiterjedő megismerését. Ebben a tekintetben a robbantások várható káros hatásainak előzetes becslése az egyik legnagyobb gyakorlatot és szakmai ismereteket követelő tevékenység.²⁰ „A robbantási munka megtervezésének első és legfontosabb része a robbantási környezet szemrevételezése. Célszerű, ha ezt a munkát a robbantásvezető a vezető robbantómester bevonásával együtt végzi. Így a vezető robbantómester közvetlen információkat szerez azokról a külső feltételekről, környezetvédelmi követelményekről, amelyekre a robbantás kivitelezése során különösen ügyelni kell.”²¹ Különösen körültekintően kell eljárni lakóépületek, csatornák, víz-, villany- és gázvezeték közelében végzett robbantásoknál. Ipari robbantásos építménybontásokat tehát csak alapos körültekintés, precíz számítások és megfelelő óvintézkedések mellett engedélyeznek.

A különleges jogrend²² időszakában a katonának már teljesen más szempontrendszer alapján kell a robbantási feladataikat végrehajtaniuk. Az 1. táblázatban említett esetekben a feladat prioritása a fő szempont, a környezeti hatások ebben az esetben másodlagosak.

Az építmények katonai tönkretételének esetén a töltetelhelyezés épp olyan fontos, mint a polgári robbantásos bontási tevékenységeknél, azonban az időtényező a katonai műveletekben különösen fontos. A katonai rombolások esetében lehetőség van összpontosított töltetek elhelyezésére is, ha az időtényező ezt megköveteli. Ezeknél a robbantásoknál a robbanóanyagok elhelyezése szintén számítások alapján történik, de a kivitelezés gyorsabb és a robbanóanyag-felhasználás nem olyan gazdaságos, mint a precíz, fojtással ellátott, statikailag meghatározott elhelyezésnél.

Említésre érdemes újszerű eredmény, hogy egyes, robbantástechnikában alkalmazott kumulatív lyukasztó- és vágótöltetek elkészítésére 3D nyomtatással is van lehetőség. Az ilyen eljárások nagyban megkönnyíthetik egyes, főleg fémszerkezeti elemek roncsolását. Ezek az eszközök kizárólag polimerek felhasználásával készítve, teljesen fémmentesen is lehetnek hatékony elemei az egyes rombolási feladatoknak.²³

¹⁹ A robbanás hatásának növelése érdekében a robbanóanyagot befogadó teret idegen anyaggal le kell zárni, és ezzel megakadályozni, hogy a robbanóanyag gázai a szabadba vezető nyíláson át távozzanak.

²⁰ BENEDEK et al. 1989: 276.

²¹ BENEDEK et al. 1989: 276.

²² Az Országgyűlésnek, illetve a Kormánynak az Alaptörvény kilencedik és tizedik módosításával 2022. november 1-jétől felhatalmazása van az állam életének rendes működését, az állampolgárok élet- és vagyonbiztonságát külső vagy belső társadalmi, illetve természeti veszély fenyegető és a veszély elhárítása, illetve következményeinek felszámolása érdekében egy meghatározott különleges jogrend eszközeinek igénybevételére.

²³ EMBER 2023; EMBER 2022.

1. táblázat: Különleges jogrend esetei

Különleges jogrend	Hadiállapot	Szükségállapot	Veszélyhelyzet
Elrendelő	Országgyűlés (2/3)	Országgyűlés (2/3)	Kormány
Kiváltó okok	háborús helyzet és veszély, külső fegyveres támadás, hatásában külső fegyveres támadással egyenértékű cselekmény, valamint ezek közvetlen veszélye kollektív védelemre irányuló szövetséges kötelezettség	alkotmányos rend megdöntésére, felforgatására vagy a hatalom kizárólagos megszerzésére irányuló cselekmény élet- és vagyonbiztonságot tömeges mértékben veszélyeztető súlyos, jogellenes cselekmény	szomszédos országban fennálló fegyveres konfliktus, háborús helyzet vagy humanitárius katasztrófa élet- és vagyonbiztonságot veszélyeztető súlyos esemény, különösen elemi csapás vagy ipari szerencsétlenség és következményeinek elhárítása
Felhatalmazott	Kormány	Kormány	Kormány

Forrás: az Országgyűlés Hivatala által kiadott összefoglaló alapján a szerzők szerkesztése

Bűnös szándékú rongálások és szabotázsakciók esetén csak nagyon ritkán készítik elő az épületszerkezeteket a robbanóanyag hatékony elhelyezésre. Ezt a folyamatot többnyire nagyobb mennyiségű robbanóanyag vagy robbanóttest (például bombák, tűzérségi lövedékek, harckocsiaknak stb.) elhelyezésével kompenzálják. Az ilyen jellegű előkészítések nem tekinthetők összpontosított töltetelhelyezésnek, hiszen nem végeznek számításokat, kizárólag a rendelkezésre álló anyagokat használják fel. A fojtás nem tekinthető relevánsnak és tudatosnak, ha azzal csak álcázni próbálják a csapdaként elhelyezett szerkezeteket.

Az említett esetekben a végső cél az épületszerkezet robbantással történő megbontása, azonban látható, hogy mind előkészületben, mind tervezésben és a kivitelezésben is óriási eltérések mutatkoznak.

Robbantóhálózat

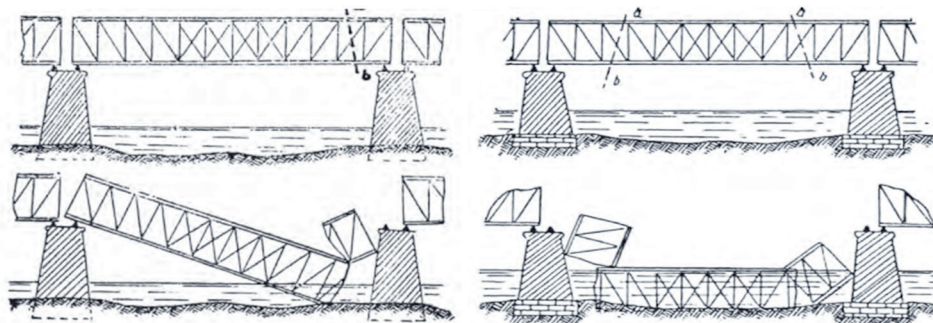
Az ipari robbantóhálózat kiépítéséhez megfelelő időkeret áll rendelkezésre, ennek hiányában a robbantásvezető elhalasztja a robbantást. A robbantóhálózat összetettsége és kiterjedése a feladat függvényében változhat, hiszen a több ezer töltet, többlépcsős időzítéssel történő elműködtetéssel kialakított bonyolult hálózat kialakítása sem példa nélküli. A robbantóhálózat típusát – pirotechnikai vagy elektronikusan programozható – mindig az adott feladathoz választják ki. Az alkalmazott robbanóanyag típusát is többnyire a robbantási feladathoz választják ki, azonban a piaci kínálat és a gazdaságosság is jelentősen befolyásoló tényezők. Az alkalmazott robbanóanyagok közös jellemzője, hogy mindegyik engedéllyel rendelkező, stabil, megbízható, kezelésbiztos ipari robbanóanyag. A töltetekre jellemző, hogy általában több, kisméretű töltetet robbantanak el a védőtávolságok (repszótávolság) és környezeti ártalmak (szeizmika, zaj, por) mérséklése érdekében.

A katonai robbantóhálózat kialakítása során törekedni kell az átláthatóságra, egyszerűsége, tekintettel arra, hogy kiépítéséhez jellemzően mérsékelt időkeret áll rendelkezésre. Egyes építmények esetén (jellemzően hidak) már az építkezés során, békeidőben előkészít(het)ik az esetleges robbantáskor alkalmazható robbantási töltetkamrát vagy robbanókamrát. Ezek

alkalmazása a katonai robbantások jellemzője, de természetesen az ipari, illetve a bűnös célú felhasználás is adott.

A katonai robbantóhálózatokra jellemző, hogy:

- minden esetben rendszeresített eszközökből áll;
- a robbanóanyag engedéllyel rendelkező, stabil, megbízható, kezelésbiztos katonai robbanóanyag;
- a gyutacs a rendszeresített típusú, a fokozatok száma jellemzően kisszámú, sok esetben egylépcsős, tekintettel arra, hogy az egy tűzben elmenő töltetmennyiség (mértékadó töltet) nagysága nem releváns.



2. ábra: Robbantás egy és két keresztmetszetben pillér melletti csomópontban

Forrás: Lukács 2017: 168–169.

Lukács László könyvében a következőket fogalmazza meg az *Építmények harcászati célú robbantása* című fejezetben: „Az építményeket a leggyorsabban azok belsejében elhelyezett úgynevezett közbehelyezett összpontosított töltetekkel lehet felrobbantani. A töltet tömege az épület földszinti részének belső térfogata, nyitott kémények és tornyok esetén pedig az alapterülete alapján határozható meg.”²⁴ Nagyon tanulságos és szemléletes az említett könyvben a kontakttöltetek alkalmazását tárgyaló fejezetben idézett „Műszaki oktatás”, amely konkrét példát hoz: „Az előkészítéshez szükséges idő és a felhasználandó robbanóanyag közötti összefüggést egy példán keresztül mutatja be a Műszaki oktatás, melyben egy 6 m széles, 1,8 m vastag hídpillér robbantása a feladat:

- a pillérvastagság felében 4 darab, egyenként 5 kg-os (összesen 20 kg) ekrazit töltetet alkalmaz, az előkészítés ideje kb. 14 óra;
- a pillérvastagság 1/3-áig befúrva 3 db, egyenként 13 kg-os (összesen 39 kg) töltetre lesz szükség, viszont 6–7 órára csökken az előkészítési idő;
- fészekben elhelyezett 2 db, 53–53 kg-os (összesen 106 kg) töltet felhasználása mellett, 4 óra alatt előkészíthető a robbantás.”²⁵

²⁴ LUKÁCS 2023: 179.

²⁵ LUKÁCS 2023: 247–249.

A bűnös szándékú/terrorjellegű robbantások esetén a robbantóhálózat kiépítésére kevés idő áll rendelkezésre, tekintve, hogy hatékonysága a kiszámíthatatlanság, meglepetés függvénye, és idővel növekszik a lelepleződés veszélye. A robbantóhálózat a rendelkezésre álló eszközökből áll, ami a következő elemeket tartalmazhatja:

- előre szerelt vagy házi készítésű gyutacs, detonátor;
- ipari, katonai vagy házi készítésű – keverék –, sok esetben instabil, kiszámíthatatlan robbanóanyag;
- ipari, katonai, illetve szükséganyagokból összeállított gyújtó- vagy indítóvezeték.

Tekintettel arra, hogy a nagy kiterjedésű és bonyolult robbantóhálózat kiépítése nagy szakértelmet, odafigyelést és időszükségletet jelent, valamint számos hibalehetőséget hordoz magában – ami miatt célszerű többször visszaellenőrizni a hálózatot –, a robbantóhálózat jellemzően egyszerű, egylépcsős, kisszámú, nagyobb robbanóanyag-mennyiséget tartalmazó töltettel.

Robbantás és következmények

Ipari robbantási feladat végrehajtása során a robbantási tevékenységet minden esetben a helyszínen, robbantásvezetőnek kell irányítania. A robbantás előtt és azt követően kötelezően figyelmeztető jelzést kell leadni annak érdekében, hogy a helyszínen tartózkodók elhagyhassák a veszélyes területet. A robbantásról jegyzőkönyv készül, amelyet a Bányafelügyelet részére meg kell küldeni. A robbantási tapasztalatokat célszerű összegyűjteni későbbi hasznosítás érdekében. A feladat értékelése (teljesített, nem teljesített, részben teljesített) a vállalkozói szerződésben meghatározottak szerint történik. Az építményt körbekerítés, őrzés nélkül tilos életveszélyes állapotban hátra hagyni. Egy esetlegesen bekövetkező baleset esetén hatósági eljárás keretében vizsgálat indul, amelynek kulcskérdése a robbantásvezető felelősségének tisztázása. A sérültet elsősorban a helyszínen tartózkodók részesítik elsősegélyben, majd mentőorvosi, szakorvosi ellátásában részesülnek. Károkozás (repeszből, szeizmikából, lég-lökésből stb. eredő) gyanúja esetén a károsult polgári peres úton folyamodhat kártérítésért a robbantással megbízott felé.

A katonai robbantást csak az arra kiképzett és felhatalmazott személy végezheti. A robbantás előtt minden esetben, harci cselekmény közben is figyelmeztetni szükséges a baráti csapatokat. A robbantásról jegyzőkönyv nem, de jelentés minden esetben készül. A tervezettől eltérő kimenetelű robbantás esetén az egység parancsnoka dönt a terület elhagyásáról (akár úgy is, hogy az állva maradt szerkezetet életveszélyes állapotban hagyják hátra) vagy újbóli robbantásról. Személyi sérülés esetén a sérültet a lehetőségek szerint látják el (helyszíni elsősegélynyújtók, mentők, szanitéc, felcser stb.), „ideális” esetben a katonai ügyészség vizsgálatot indít a felelőségek tisztázására. Károkozás gyanúja esetén harci körülmények között jellemzően nincs lehetőség kártalanításra.

Fontos megemlíteni azt a tényt, hogy a katonai jellegű robbantásokat nem csak minősített körülmények között lehet végrehajtani, hiszen a tűzszerész katonák nap mint nap végzik

a háborúból visszamaradt robbanótestek hatástalanítását, megsemmisítését. Ha a hatástalanítás, megsemmisítések során, illetve azokkal közvetlen összefüggésben keletkezik kár, azt a Honvédelmi Minisztérium illetékes szervezete fogja kivizsgálni és az esetleges kártalanítás mértékét megállapítani. Sérülések, illetve egyéb, emberi szervezet károsodásával járó hatások vizsgálatát a katonai ügyészség és az általa bevont szakmai szervezetek fogják kivizsgálni.

A bűnös szándékú/terrorjellegű robbantást „bárki” végezheti. A robbantás előtt nem történi figyelmeztető jelzés. A nemzetközi hadszíntereken – ahol a lakosság nagy része is egyetért a terrorjellegű cselekményeket elkövetők nézeteivel – a lakosságot figyelmeztető piktogramok, jelek fedezhetők fel, amelyek az esetleges támadásokra figyelmeztetnek.

Terrorcselekmény esetén jellemzően nem prioritás a robbantás az elképzelt szerinti kivitelezése, korrekcióra, második robbantásra pedig nincs lehetőség. Merényletnél szintén nincs lehetőség második robbantásra. Szabotázsra vagy szerkezeti elem leküzdésére irányuló robbantás esetén elképzelhető, hogy a támadó megkísérli véghez vinni a rosszindulatú cselekményét. A robbantás célja sok esetben a személyi sérüléssel járó károkozás, a sérülteket a helyszínen tartózkodók részesítik elsősegélyben, ezt követően mentőorvosi, illetve szakorvosi ellátást kapnak. Az ilyen jellegű cselekményből eredő kártalanítást a biztosítás jellemzően nem fedezi, és a robbantó felelősségre vonása öngyilkos merénylő esetén nem kivitelezhető.

Összegzés

A tanulmányban összehasonlítottuk az építményszerkezetekre alkalmazott polgári, ipari (bontás); a katonai (tönkretétel) és a bűnös szándékú (leküzdés és szabotázs) felhasználású tipikus robbantási feladatokat, annak érdekében, hogy megvizsgáljuk, az egyes felhasználási területek között milyen mértékű átfedés, hasonlóság jellemző. Az összehasonlítás 31 szempont alapján történt, amelyek a robbantási feladat célja, az előkészítése, a robbantóhálózat és maga a robbantás köré csoportosíthatók.

A vizsgált szempontok leglényegesebb pontjai:

- mi a robbantás tervezett kimenetele és mennyire konkrét;
- szükséges (vagy egyáltalán releváns-e) írásbeli szerződés-kötés; milyen információk szükségesek vagy állnak a robbantó rendelkezésére az építményről (anyagjellemzők, keresztmetszeti méretek stb.); szükséges-e bármilyen hatósági engedély beszerzése; szükséges-e tulajdonosi hozzájárulás; készülnek-e kiviteli tervek, illetve műszaki leírás; milyen építményszerkezeti előkészítések jellemzők; milyen lehetőségek vannak a töltel-elhelyezés előkészítésére; kialakítanak-e repeszvédelmet; kialakítanak-e porvédelmet; történik-e állagfelmérés a közeli objektumok tekintetében; megtörténik-e a közeli védendő objektumok bevédése; előzetesen tájékoztatják-e a tervezett robbantásról a közelben lakókat, dolgozókat; szükséges-e védőtávolság számítása és területzárás; van-e lehetőség próbarobbantás végrehajtására;
- mennyi idő áll rendelkezésre a robbantóhálózat kiépítésére; milyen összetettségű, bonyolultságú, kiterjedésű a robbantóhálózat; milyen típusú a robbantóhálózat (piro-

technikai, elektronikusan programozható); hány fokozatban történik a robbantási feladat végrehajtása; mi a robbanóanyag jellemző fajtája, típusa; mekkora a jellemző töltet mennyiség;

- ki végezheti a robbantást; szükséges-e a robbantás előtt figyelmeztető jelzést adni; mi a protokoll az elvárttól eltérő kimenetelű robbantást követően; készül-e jegyzőkönyv a robbantásról; összegyűjtik-e a robbantási tapasztalatokat; személyi sérülés esetén mi a teendő; károkozás esetén van-e módja a kártérítésnek.

A tárgyalt jellemzők alapján, hasonlósági mátrix (2. táblázat) felállításával megállapítható, hogy az ipari és katonai felhasználás 5 pontban, az ipari és bűnös szándékú felhasználás 0 pontban, a katonai és bűnös szándékú felhasználás 9 pontban mutat hasonlóságot. A további 17 vizsgált jellemző tekintetében a három felhasználási terület egyedi mintát mutatott.

2. táblázat: Építményrobbantás hasonlósági mátrix a legfontosabb kritériumok szerint

Építményszerkezetek robbantása			
Hasonlósági mátrix	Ipari	Katonai	Bűnös célú
Célja	egyértelmű, szerződésben rögzített	egyértelmű, parancs alapján	nem feltétlenül egyértelmű
	az építmény munkagéppel, illetve kézi erővel történő elbontásának elősegítése	legtöbbször a szerkezet tönkretétele, vagyis olyan szintű károsítása	a közrend, köznyugalom megzavarása, az építmény funkciójának eliminálása
Írásbeli megrendelés	szükséges	nem releváns	nem releváns
Információ az építményről	a tervdokumentációk ellenőrzésével	jellemzően mérsékelt részletességű	jellemzően mérsékelt részletességű
Hatósági engedély	szükséges	nem szükséges	nem szükséges
Tulajdonosi hozzájárulás	szükséges	nem szükséges	nem szükséges
Kiviteli tervek és műszaki leírás	szükséges	szabályzatok alapján készülhet	célszerű
Építményszerkezet előkészítése	szükséges, akár hónapokat is eltarthat	lehetőség szerint	ritkán van rá lehetőség
Töltetelhelyezés előkészítése	jellemző	lehetőség szerint	nincs rá lehetőség
Repszédelem	szükséges	lehetőség szerint	nem szükséges
Porvédelem	jellemző	nem releváns	nem releváns
Közeli objektumok állagfelmérése	szükséges	lehetőség szerint	nem szükséges
Közeli objektumok bevédése	szükséges	lehetőség szerint	nem szükséges/nincs rá lehetőség
Lakók, ott dolgozók előzetes tájékoztatása	szükséges	a feladat függvényében	nem szükséges
Területzárás	szükséges	szükséges	nem szükséges
Próbarobbantás	lehetséges, fémszerkezeteknél javasolt	lehetőség szerint	jellemzően nincs rá lehetőség
Robbantóhálózat építésének időtartama	megfelelő	jellemzően mérsékelt	kevés
Robbantóhálózat feladat/típus	bonyolult	egyszerű	egyszerű
	a feladathoz választott	rendszeresített	rendelkezésre álló
Fokozatok száma	jellemzően többlépcsős	jellemzően egylépcsős	jellemzően egylépcsős

Építményszerkezetek robbantása			
Gyutacs mennyiség	akár több ezer	kisszámú	kisszámú
Robbanóanyag fajtája	kezelésbiztos ipari	kezelésbiztos katonai	ipari, katonai, házi (kiszámíthatatlan)
Robbanóanyag típusa	a feladathoz választott	a rendszeresített	az elérhető
Robbanóanyag tömege	több, kisméretű töltet	nem releváns	kevés, nagyobb töltet
Figyelmeztetés a robbantásra	szükséges	szükséges	nem szükséges
Robbantási jegyzőkönyv	szükséges	nem szükséges	nem szükséges
Tapasztalatok összegyűjtése	célszerű	célszerű	célszerű

Forrás: a szerzők szerkesztése

A fentiek alapján kijelenthető, hogy a kiindulási tézist nem sikerült igazolni, tekintettel arra, hogy az építményszerkezetek ipari bontása és a bűnös célú leküzdésének tipikus jellemzői nem mutatnak egyező mintát, a vizsgált szempontok alapján felállított hasonlósági mátrix alapján a hasonlóságuk, egyezőségük zérus. A megállapítás alapján azonban fontos arra kitérni, hogy a bűnös szándékú/terrorjellegű robbantásoknál az esetek jelentős részében a forgalomban lévő robbanóanyagok ipari érintettségűek.

Nem véletlen, hogy az Európai Parlament és a Tanács irányelvet fogalmazott meg a polgári felhasználású robbanóanyagok forgalmazására és ellenőrzésére vonatkozó tagállami jogszabályok harmonizációjáról.

Felhasznált irodalom

- BENEDEK Dénes et al. (1989): *Robbantómesterek kézikönyve II.* Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület.
- BONSIGNORE, E. (1984): A repülőterek rombolásáról. *Honvédelem*, (12), 37–42.
- BUNYITAI, ÁKOS (2023): Insider Threat Mitigation in High Security Facilities. *Nemzetbiztonsági Szemle*, 11(1), 49–61. Online: <https://doi.org/10.32561/nsz.2023.1.4>
- DARUKA Norbert (2010): *A házilag készített robbanószerkezetek, avagy színesdrótok és robbanóanyag, mint a terrorizmus leghatékonyabb fegyverzete.* New Challenges in the Field of Military Sciences. Budapest, 2010. szeptember 28–30.
- DARUKA Norbert (2011): Veszélyes épületszerkezetek robbantásos eljárással történő eltávolításának követelményei, módszerei, biztonsági rendszabályai. *Műszaki Katonai Közlöny*, 20(1–4), 95–108.
- DARUKA Norbert (2013a): Hejmfaritaj eksplodilój. *Teleskopo*, (4), 1–11. Online: <https://web.archive.org/web/20160628195622/http://teleskopo.com/2013.htm>
- DARUKA Norbert (2013b): *A bűnös célú/terror jellegű robbantások és az ellenük való védekezés lehetőségei, különös tekintettel a tűzszerész feladatok ellátására.* PhD-disszertáció. NKE KMDI. Online: http://uni-nke.hu/downloads/konyvtar/digitgy/phd/2014/daruka_norbert.pdf
- EMBER István (2022): 3D nyomtató alkalmazási lehetősége egyes speciális robbantási feladatoknál. In DARUKA Norbert (szerk.): *Fúrás-Robbantástechnika Nemzetközi Szimpózium Különkiadás, 2022.* Budapest: Magyar Robbantástechnikai Egyesület, 75–83.
- EMBER István (2023): Additív gyártástechnológia alkalmazási lehetőségei vágótöltet készítésére. In SZELEI Ildikó (szerk.): *A hadtudomány és a 21. század.* Budapest: Doktoranduszok Országos Szövetsége (DOSZ) – Colorcom Media Kft., 9–15.

- KOVÁCS Zoltán (2013): Katonai objektumok IED elleni védelmének lehetséges technikai megoldásai. *Műszaki Katonai Közlöny*, 23(2), 114–121. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/mkk/article/view/2438>
- LUKÁCS László (2017): *Szemelvények a magyar robbantástechnika fejlődéstörténetéből*. Budapest: Dialóg Campus.
- LUKÁCS László (2023): *Szemelvények a hazai katonai robbantástechnika és a földalatti aknaharc fejlődéstörténetéből*. Budapest: Ludovika.
- MUELLER Othmár (1971): Vasbeton-robbantások. *Haditechnika*, (3), 87–89.
- MÚ/213 (1971): *Robbantási utasítás*. Budapest: Honvédelmi Minisztérium.
- SZALKAI László (2023): *Possibilities of Opening Doors with Explosives in Law Enforcement*. Trhacia Technika 2023, Slovak Republik, Kongresové centrum ACADEMIA Stará Lesná 32. nemzetközi konferencia, május 10–12.

Jogsabályi források

1989. évi 20. törvényerejű rendelet a háború áldozatainak védelmére vonatkozóan Genfben 1949. augusztus 12-én kötött Egyezmények I. és II. kiegészítő Jegyzőkönyvének kihirdetéséről. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=98900020.tvr>
- 28/2022. (I. 31.) SZTFH rendelet a polgári felhasználású robbanóanyagok forgalmazásáról és felügyeletéről. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a2200028.stf>

Ámon Gergely,¹  Bene Katalin² 

Villámárvizek kialakulásának bizonytalansági vizsgálatai feltáratlan vízgyűjtőkön³

Uncertainty Studies of Flash Flood Events on Ungauged Watersheds

Az elmúlt évek rövid időtartamú, nagy intenzitású csapadékeseményei szükségszerűvé teszik a kisvízgyűjtők feltérképezését és a villámárvizek viselkedésének pontosabb megismerését. Általánosan jellemző Magyarországon a vízgyűjtők feltáratlansága. A klasszikus empirikus módszerekkel szemben a növekvő csapadékintenzitások hatásainak elemzéséhez komplex módon felépített numerikus modellek szükségesek. A rövid időtartamú, nagy intenzitású, csapadékeltette, felszíni lefolyásból képződő árhullámok nagy esésű vízgyűjtőkön általában jól leírhatók részlegesen összevont paraméterezésű modellekkel. Így az érzékeny paraméterek mértéke leszűkíthető, ezáltal a modell eredményeinek bizonytalansága csökken. A hirtelen megjelenő árhullámok esetében ugyanakkor arányaiban kisebb mennyiség- és időbeli bizonytalanság is hatással lehet annak mértékére, hogy valós vízkár keletkezik-e. A vizsgálatokhoz hatékony eszköz a hidrológiai és vízgyűjtőre kiterjesztett hidrodinamikai modellek alkalmazása. A vízgyűjtő területi átlagolással paraméterezett hidrológiai modell és a rácsáló alapú hidrodinamikai modell eredményei a kifolyási peremen hasonlíthatók össze. Jelen cikk célja az összehasonlító modellezés alkalmazhatóságának bemutatása. A vizsgálat két eltérő fizikai tartalmú modellen alapul ugyanazon vízgyűjtőn. Cél kimutatni, hogy a rendelkezésre álló adatok hiányossága ellenére a modellek összehasonlító elemzésével megfelelő képet lehet kapni a feltáratlan vízgyűjtő működéséről és a kialakuló árhullámok hatásáról.

¹ Széchenyi István Egyetem Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék Vízgazdálkodási Kutatócsoport, e-mail: amon.gergely@sze.hu

² Széchenyi István Egyetem Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék Vízgazdálkodási Kutatócsoport, e-mail: benekati@sze.hu

³ A publikáció a Víztudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium, Széchenyi István Egyetem, Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék / Vízgazdálkodási Kutatócsoport támogatásával készült.

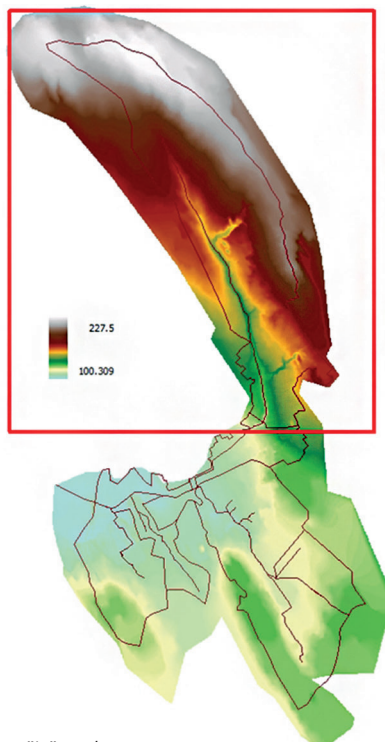
Kulcsszavak: vízgyűjtő hidrológia, hidrodinamikai, paraméterérzékenység, numerikus módszerek, Clark-egységárhullám, sekélyvízi egyenletek

The rainfalls events with high intensity and short duration of the last years are urging necessarily to gauge steep-sloped small watersheds, and to recognise the behaviour of flash floods. In Hungary generally the watersheds are ungauged, where the classic analytical methods should be used wary. Therefore properly analysing flash flood events need complex numerical models, or different stages of numerical models. In general floods from intense overland flow can be estimated with models using semi-lumped parametrization. The amount sensitive parameters can be reduced therefore the uncertainty of the model is also decreasing. On the other hand, during flash floods smaller uncertainties of volume and time could have an effects on a possible water damages. A useful tool for such investigations the use of hydrological and hydrodynamical model on watershed scale. An area averaged hydrological and a mesh based hydrodynamical model's results can be compared on the outflow section. The goal of this study is presenting the usefulness of comparing different models. The investigation is based on two different models with different physical background on the same watershed. Besides lack of measured data, the comparison of different models can give a proper view on the behaviour of a watershed during a flash flood event.

Keywords: Watershed hydrology, hydrodynamics, parameter sensitivity, numerical modelling, Clark Unit hydrograph, shallow water equations

Bevezetés

A publikáció célja a villámárveszélyes vízgyűjtőn a mennyiségi és időbeli bizonytalanságok feltárása. A csapadék keltette villámárvizek kárelhárítási folyamatai között az időbeliség, azaz az időelőny meghatározása az emberélet és a gazdasági javak szempontjából közvetlenül fontos, a mennyiségi szempontok pedig közvetve, főleg a gazdasági károk elkerülése céljából igényelnek megfelelően kiépített vízelvezető rendszert, amelyre havária esetén megfelelő védelmi stratégiát kell felépíteni. A vízgyűjtők modellezésének egyik kutatási iránya a hidraulikai viselkedés modellezése kapcsolt hidrológiai és hidrodinamikai modellek segítségével.



1. ábra: Az Aszalvölgyi-csatorna vízgyűjtő rendszere

Forrás: EUDEM

A vízhasznosítási problémák mellett a publikációban tárgyalt villámárvízhatás egy, a csapadékesemények intenzitásának átalakulásával egyre nagyobb jelentőségű folyamat. Várhatóan a közeljövőben a növekedő intenzitású csapadékesemények gyakorisága is növekedni fog, ennek megfelelően ez több oldalról is kutatások fókuszába kell hogy terelje a jelenséget. Egyrészt a vízkár elhárítása (hogyan védekezzünk műszakilag és gazdaságilag hatékonyan), mit lehet kezdeni az egyre rövidebb idő alatt megjelenő vízmennyiségekkel (hol lehet tárolni, mire lehet felhasználni). A publikáció az idő- és tetőző hozambeli bizonytalansággal foglalkozik, olyan kérdésekre keresve a választ, hogy a változó helyzetből és a geometriai és talajtani feltáratlanságból adódó bizonytalanságok mellett található-e és megfelelően definiálható-e olyan paraméterek, amelyek mellett megbízhatóan működő modelleket lehet felépíteni. Országosan jellemző, hogy főleg a kisebb vízgyűjtők (<50–100 km²) adatellátottsága szegényes, hidrológiai, területhasználati és geometriai szempontból egyaránt, tehát feltáratlannak tekinthetők.

A publikációban egy ilyen konkrét vízgyűjtővel foglalkozunk, amely a Székesfehérvár belterületét is érintő Aszalvölgyi-csatorna felső, 27,4 km² kiterjedésű felső vízgyűjtője (1. ábra). A munka célja egy korábbi, teljes vízgyűjtőre kiterjedő modellvizsgálat kalibrációját alapul

véve⁴ összevont paraméterezésű hidrológiai és peremfeltételként csapadékidősort felhasználó hidrodinamikai modellek összehasonlító elemzésével pontosabb rálátást kapjunk a vízgyűjtő paraméterérzékenységére, ezáltal az idő- és mennyiségbeli bizonytalanságokra. Ennek eszköze kétféle, ugyanazon területre felépített, eltérő működésű modell, amelyek eredményei hatással vannak a kalibrációkra, az összehasonlító elemzés alapján az eredmények érzékenysége pedig rámutat a modellek megbízhatóságára.

A modellvizsgálat alapját, a teljes vízgyűjtő hidrológiai modelljének korábbi kalibrálása adta, amely a 2010-es májusi mért csapadékeseményeken alapult, amelyhez egy, a 3% relatív gyakoriságú, torkolati permanens vízhozam volt egyedül hozzárendelhető adat. A kalibráció ellenőrzésként a 10% és 1%-os csapadékeseményekhez való eltérés mértéke adta meg a modell megbízhatóságát a különböző nagycsapadékokra. Mivel a teljes vízgyűjtőrendszer hozamának jelentős részét a felső vízgyűjtő befolyásolja, kimondható, hogy a teljes vízgyűjtőmodell érzékenységének mértéke hasonló a felső vízgyűjtőéhez.⁵

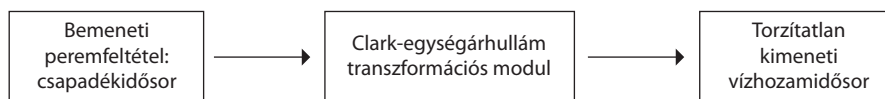
Modellfelépítés

Az összehasonlító elemzés két lépésben történt. Első lépésben a hidrológiai modell csapadékidősort nem redukáltuk, tehát nem feltételeztünk veszteségeket. A hidrodinamikai modellben ugyanezt a csapadékidősort használtuk peremfeltételnek, és a kifolyási pontnál a hidrológia modell által meghatározott vízhozamidősről volt az n érdességű tényező kalibrálási alapja. A második lépésben a korábbi kutatások során kalibrált hidrológia modell, amely tartalmazta a veszteségeket is, volt az alapja a hidrodinamikai vizsgálatoknak.⁶ A redukálatlan és a redukált csapadékidősről meghatározott vízhozamidősről összehasonlítottuk, és meghatároztuk a redukációs tényezőt. A redukációs tényezőt kétféleképpen alkalmaztuk, egyrészt a kifolyási vízhozamidősoron és a bemeneti csapadékidősoron.

Modellstruktúra

Hidrológiai modell elvi (moduláris) felépítése:

Első lépésben alkalmazott veszteségmentes hidrológiai modell (csak a lefolyást befolyásoló geometriai paraméterek jelennek meg a modellben).



2. ábra: Veszteségmentes hidrológiai modell sémája

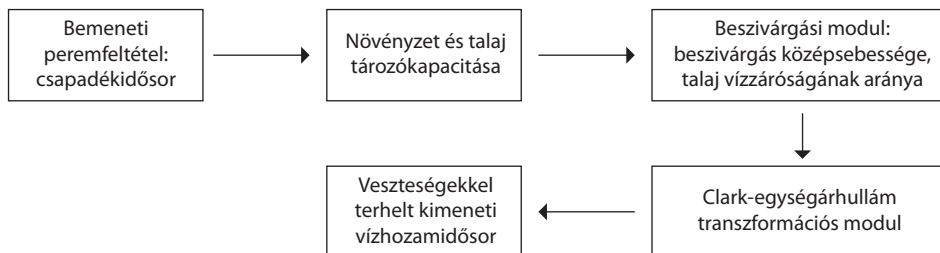
Forrás: HEC-HMS felszínlefolyás-modulok

⁴ ÁMON 2016: 26.

⁵ ÁMON 2016: 37.

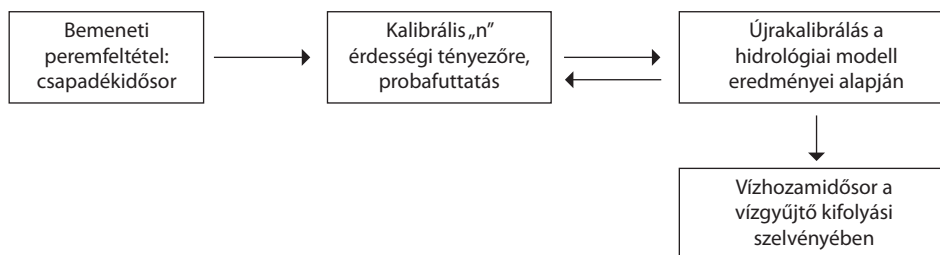
⁶ ÁMON-BENE 2022.

Második lépésben alkalmazott teljes hidrológiai modell sémája (a lefolyást befolyásoló összes modul bevezetésével).



3. ábra: Hidrológiai modell sémája veszteségekkel
 Forrás: HEC-HMS felszíni lefolyás és szivárgási modulok

Hidrodinamikai modell sémája.



4. ábra: Hidrodinamikai modell sémája
 Forrás: HEC-RAS felszíni lefolyás rendszer

Az elemzés során HEC-HMS hidrológia modellt és 2D HEC-RAS hidrodinamikai modellt alkalmaztuk.

Hidrológiai modell lefolyásszámítása Clark-egységárhullám módszerrel, HEC-HMS környezetben:⁷

Alapegyenlet, lineáris tározók elve szerint:

$$\begin{aligned}
 dS &= (I - O)dt \\
 Q &= x \cdot I + (1 - x) \cdot O \\
 S &= K \cdot Q
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Ahol S a tározott víztérfogat, I a belépő vízhozam, O a kilépő vízhozam, x a Muskingum-féle tározási tényező, K a tározási együttható.

⁷ FELDMAN 2000.

A felszíni lefolyás számítása:

$$\frac{A_t}{A} = f(x) = \begin{cases} 1.414 \left(\frac{t}{t_c}\right)^{1.5}, & t \leq \frac{t_c}{2}, \\ 1 - 1.414 \left(1 - \frac{t}{t_c}\right)^{1.5}, & x \geq 0, \end{cases} \quad (2)$$

Ahol A_t a kumulált aktív vízgyűjtőterület időegység alatt, A a teljes vízgyűjtőterület, t_c az összegyülekezési idő.

A Clark-egységárhullám könnyen, kevés adatból paraméterezhető, stabil számítási modell.⁸ Az alkalmazott modellszámítások esetében a stabilitás, az iterációs lépések csökkentése kiemelten fontos a modellek bizonytalanságának mérséklése érdekében.

Hidrodinamikai modell:

- Vektorizált terepadatok alapján épített digitális terepmodell (DTM), ortofotós terület-használati térképpel kiegészítve;
- Navier–Stokes-egyenleteket alkalmazó megoldó motor, végestérfogat-módszerrel, kiegészítő turbulencia-modell nélkül.

Alapegyenlet, sekély vízi egyenletek $x - y$ irányban:⁹

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} &= -g \frac{\partial H}{\partial x} + v_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f u + f v \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} &= -g \frac{\partial H}{\partial y} + v_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v + f u \end{aligned} \quad (3)$$

Ahol $u, v - x, y$ irányú sebességkomponensek, $H -$ vízmélység az adott cellában, g a nehézségi gyorsulás, v_t a vízszintes örvényviszkózitási együttható, c_f a fenékcúsztató feszültség együtthatója, f a Coriolis-paraméter. A felszíni lefolyás pontos közelítése igényli a teljes hidrodinamikai alapegyenletek minél jobb közelítését.¹⁰

A csapadék keltette lefolyás hidrodinamikai modellezésénél turbulenciamodellel kiegészített, teljes sekély vízi egyenleteket használó numerikus megoldókat célszerű alkalmazni, amelyhez szivárgási modell is tartozik.¹¹

Ugyanakkor a kutatásban vizsgált vízgyűjtő nagy esésű, egy torkolati szelvényre vonatkoztatott vízhozamidősor létrehozása a cél, ezért a turbulenciát vizsgáló kiegészítő modul elhanyagolható.

A lokális turbulens hatások abban az esetben lennének a vízgyűjtőn mérvadók, ha a fluxus nem nagy, vagy valamilyen műtárgy, akadály környezetének pontos viselkedését akarjuk leírni.¹² Az adathiányból adódóan a szivárgási modell rácshálóra kiterjesztve bizonytalan eredményeket adna, ezért a hidrológiai modell paraméterezési összefüggései alapján redukált csapadékmennyiségeket vettünk figyelembe, a későbbi fejezetekben bemutatottak szerint.

⁸ SZILÁGYI 2018: 277–279.

⁹ BRUNNER 2020.

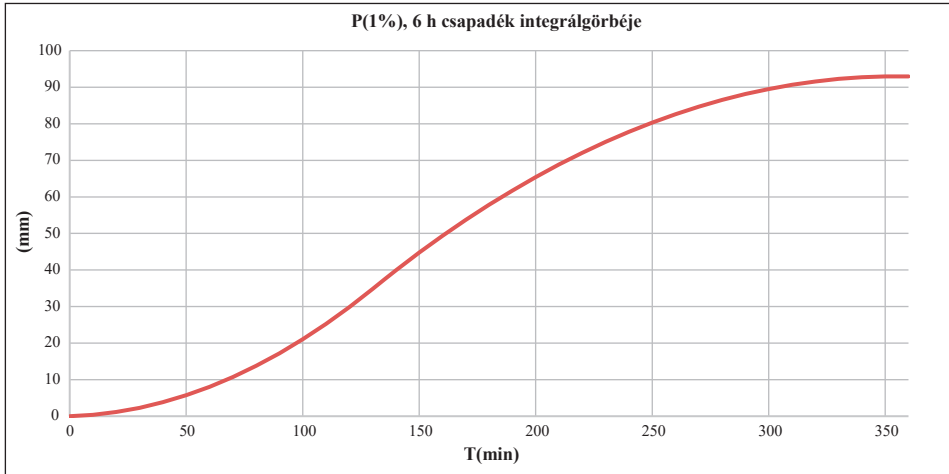
¹⁰ CÁNOVAS et al. 2011: 970–979.

¹¹ HUANG et al. 2015: 1203–1218.

¹² ÁMON–BENE 2019: 67.

Peremfeltétel

A bemeneti peremfeltétel mindkét modell esetében megegyezik, azaz a csapadékmaximum függvények által meghatározható, $p = 1\%$ relatív gyakoriságú, 6 óra időtartamú csapadék-esemény (5. ábra).



5. ábra: 1% relatív gyakoriságú, 6 órás csapadék integrálgörbéje

Forrás: e-UT 03.07.12. alapján

A hidrodinamikai modell kifolyási peremfeltétele az energiavonal esésével volt reprezentálható. Ebben az esetben az energiavonal esése közelíthető a kifolyási perem környezetében a terep esésével, amely értéke 7‰.

Kezdeti feltételként a hidrodinamikai modellnél, illetve a torzítatlan hidrológiai modellnél száraz rendszert feltételeztünk. A teljes hidrológiai modell esetében a futtatások során kiderült, hogy a modell mérsékelten érzékeny a kezdeti feltételekre, azaz a teljes vízgyűjtő kalibrációjánál, a 2010. májusi események előzményeként felhasznált április végi állapotok minimálisan befolyásolták mind a végeredményt, mind az érzékenységet.

Modellek kalibrálása

A vízgyűjtő feltáratlan hidrológiai értelemben. Terepmodellt topográfiai térképi adatok vektorizálásával lehetett létrehozni, amelyből raszteres digitális terepmodell (DTM) alakult ki.

Hidrológiai modell

Az összegyülekezés és a tározás időtartamát a Clark-egységárhullám-modell paraméterezéséhez a terepmodell alapján számítottuk, amelyet regressziós egyenletekkel ellenőriztünk.

A vízgyűjtőterület (A), átlagos terepesés (S), le hosszabb lefolyási hossz (L) paraméterek függvényében a szakirodalom több eltérő összefüggést ismer,¹³ jó illeszkedésű regressziós egyenleteket javasolt nagyobb kiterjedésű vízgyűjtőkön, de a felületmodell alapján számolt összegyülekezés és becsült tározási együttható értékét mégis az alábbi egyenlet közelítette meg megfelelően:¹⁴

$$t_c = 1,54 \cdot L^{0,875} \cdot S^{-0,181}; R = 16,4 \cdot L^{0,342} \cdot S^{-0,79} \quad (5)$$

A fenti egyenletek egyértelműen nem terjeszthetők ki minden vízgyűjtőre. Megbízható értékeket az összegyülekezési idő és a tározási paraméter meghatározására akkor lehetne kapni, ha a modell időlépéseiben keletkező paraméterhibák hatását külön-külön értékeljük. Ezzel betekintést lehet nyerni a Clark-együtthatók viselkedésébe, és pontosabban lehetne meghatározni az összegyülekezés és tározás értékeit.¹⁵

A növényzet, és főleg a talaj viszonylatában kevesebb adat állt rendelkezésre, ezért a további bizonytalanságokat okozó változók kiküszöbölésére csak összevont paraméterezésű modell építésében lehetett gondolkodni. Ennek megfelelően a talaj vízmészítő hatását talajtípustól és a vízgyűjtő esésétől függő súlyozott átlagolással osztottuk szét a vízgyűjtő területen.

Hidrodinamikai modell

A modell kalibrálásánál tagoltabb paraméterezést alkalmaztunk a területhasználati térkép által megadott eloszlás szerint. A kalibrációs paraméter a felület érdességét leíró n paraméter. Fontos megjegyezni, hogy a csapadék keltette lefolyás esetében a vízmozgás a felszínen leperszerű, tehát az általánosan mederbeli lefolyásnál alkalmazott érdességi értékekhez képest a felületi egyenetlenség okozta súrlódás sokkal nagyobb hatást gyakorol az áramlásra, ezért az értékek nagyságrendileg változnak a leperszerű áramlás vizsgálatakor. Ezen változás meghatározására egzakt módszer jelenleg nem fellelhető, a modellkísérletben a hidrodinamikai modell kalibrálását indirekt módon, a hidrológiai modell kifolyási szelvényében számított idősorhoz igazítottuk. Tájékoztató jelleggel (1. táblázat) az egyes felületekhez tartozó érdekességeket nagyvízi mederbeli vízmozgás és csapadék keltette leperszerű lefolyás esetén összefoglaltuk.

1. táblázat: Felületi érdességek természetes felületeken nagyvízi árhullám és csapadék keltette lefolyás esetén

	n	
	Nagyvíz	Csapadék
Vízmosás, természetes meder	0,045	0,1125
Ritkás fás terület	0,08	0,6375
Erős bozótos	0,08	0,6375
Erdő	0,12	0,9
Szántó	0,06	0,7031

Forrás: a szerzők szerkesztése

¹³ OSMAN–ABUSTAN 2011: 126–141.

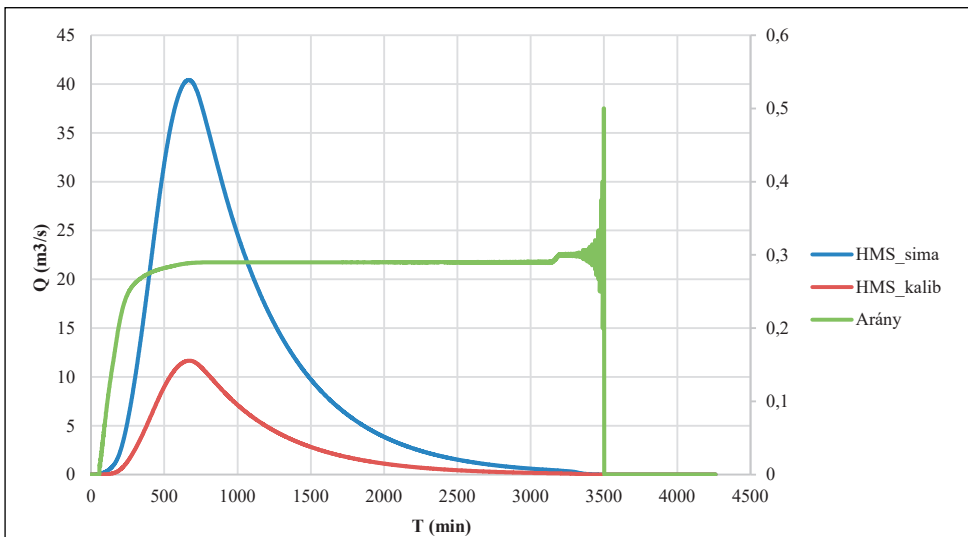
¹⁴ FELDMAN 2000.

¹⁵ MÁTYÁS–BENE 2018: 175–186; ALSILIBE–BENE 2021: 88–93.

A hidrodinamikai modell kalibrációját első lépésben a hidrológiai modell veszteség nélküli eredményei alapján kalibráltuk, amelyek n értékei az 1. táblázat 2. oszlopában láthatók. Összehasonlítva a mederbeli lefolyás és a csapadék keltette felszíni lefolyás n értékeit, nagyságrendi eltérés tapasztalható.

A hidrológiai modell kiértékelése

A kalibrált vízgyűjtőmodell megfelelő árhullámképet ad, amelyhez hozzácsatoltuk a redukálatlan árhullámot, azaz a Clark-féle transzformációs paraméter kivételével mindent kivettünk a modellből. Erre azért van szükség, hogy látható legyen a terepi adottságok és a talaj redukáló hatása a hidrodinamikai modell peremfeltételének meghatározásához (6. ábra).



6. ábra: Kalibrált és veszteségmentes kifolyásvízhozam-idősorok – hidrológiai modellfuttatások eredményei a hidrológiai modellből

Forrás: a szerzők szerkesztése

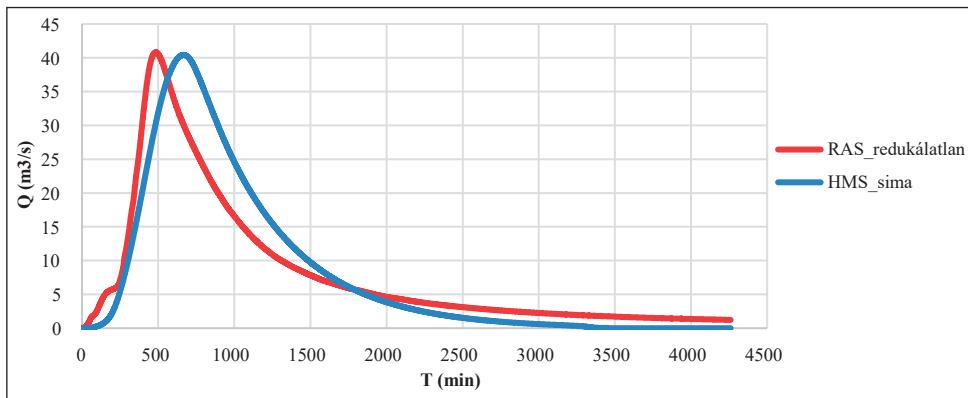
A valós és a veszteségmentes idősor között a különbségek trendjéből az $\alpha = 0,288$ redukációs tényező állapítható meg.

A hidrodinamikai modell kiértékelése

A redukációs tényező hatásának bemutatása

Az első szakasz hidrodinamikai modell eredményeit összevetve a redukálatlan hidrológiai modell kimeneti idősorával láthatóan jó illeszkedést mutat, a tetőzési idő esetében van némi

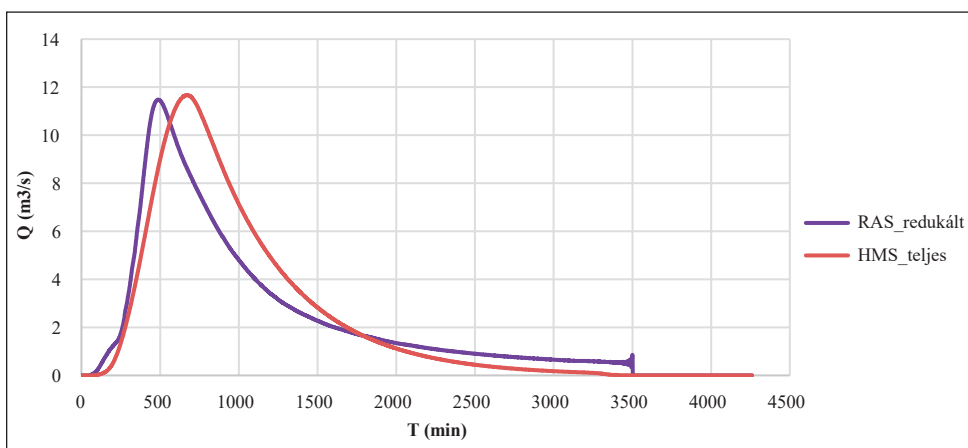
eltérés, de a csúcshozam illeszkedése megfelelő, az apadó ágak eltérései a villámár tetőzése szempontjából elhanyagolhatók (7. ábra).



7. ábra: Vesztésmentes hidrológiai modell és redukálatlan hidrodinamikai modell számított kifolyásvízhozam-idősor eredményeinek összehasonlítása

Forrás: a szerző szerkesztése

A modellezés második szakaszában bevezetve a hidrodinamikai modell kifolyási idősorán az α redukációs tényezőt, az illeszkedés a valós kilépő vízhozamnál is megfelelő (8. ábra). Az árhullámcsúcs értékében számottevő különbség a teljes hidrológiai modell és a redukált eredményű hidrodinamikai modell között nem jelentős, az időbeli eltérés pedig változatlan a redukálatlan modellhez képest.

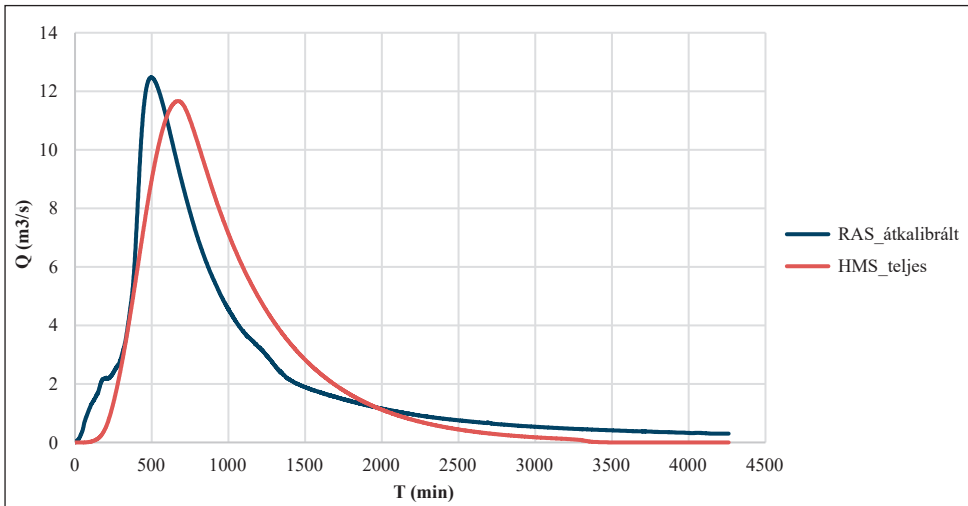


8. ábra: Teljes hidrológiai modell és redukációs tényezővel torzított hidrodinamikai modell számított kifolyásvízhozam-idősor eredményeinek összehasonlítása

Forrás: a szerző szerkesztése

Hidrodinamikai modell futtatása redukált csapadékmennyiséggel

A modellezés következő lépésében a bemeneti peremfeltételt, azaz a teljes modelltre kiterjesztett, egyenletesen eloszló csapadékidősorot redukáltuk a redukációs tényezővel. A modellt a módosított bemeneti peremfeltételhez újra kellett kalibrálni. Összehasonlítottuk a teljes hidrológiai modell és a redukált csapadék alapján kalibrált hidrodinamikai modell kimeneti idősorait (9. ábra).



9. ábra: Teljes hidrológiai modell és az átkalibrált hidrodinamikai modell számított kifolyási vízhozam idősorainak összehasonlítása

Forrás: a szerzők szerkesztése

A tetőzés időpontja szempontjából az eltérés hasonló a korábbi eredményekhez, az árhlámcsúcs tekintetében az újonnan kalibrált hidrodinamikai modell némileg magasabb tetöző hozamot produkál. A 2. táblázat 1. oszlopa mutatja a redukálatlan csapadékidősorhoz tartozó kalibrált értékeket, a 2. pedig a redukált csapadékidősorhoz készített kalibráció értékeit.

2. táblázat: Az n érték változása különböző területhasználatok esetén a redukációs tényező bevezetésének hatására

	n	
	Csapadék	Csapadék_red
Vízmosás, természetes meder	0,1125	0,0422
Ritkás, fás terület	0,6375	0,1195
Erős bozótos	0,6375	0,1195
Erdő	0,9	0,1688
Szántó	0,5625	0,1055

Forrás: a szerzők szerkesztése

A redukció kisebb n értékeket eredményezett. További vizsgálatokat igényel az n érték csökkenési okának meghatározása, azaz milyen mértékben okoz problémát a terület geometriája, vízmegállásos helyek mértéke, eloszlása. Jól látható, hogy a kis- és nagyvízi kalibrációk között az eltérések nagyságrendiek, ezért n értékével kapcsolatban további kutatások szükségesek kisvízi esetekben.

Érzékenységvizsgálatok

A villámárvizek szempontjából fontos, hogy a feltáratlan vízgyűjtőn az aktuális állapot (talaj telítettsége, területhasználat változása, csapadékesemény évszakos eloszlása stb.) terhelhető bizonytalanságokkal, amelyek vízgyűjtőnként változnak, tehát az időelőny és a mennyiség szempontjából befolyásoló szerepük lehet.

A hidrológiai modell bizonytalanságelemzései

A hidrológiai modell esetében Monte Carlo-szimulációt alkalmaztunk, normál eloszlást feltételezve. Minden paraméter esetében a kalibrálthoz képest $\pm 25\%$ -ot mozdítottunk ki, minden paraméterre 1000 különböző szimulációt futtattunk le, az összegyűlekezés ideje (T), a tározási paraméter (K), a talaj kezdeti telítettségi foka (IS), a beszivárgás sebessége (k), valamint a vízzáróság aránya (IMP) leíró paramétereire, az intervallumokon egyenletes eloszlás szerint az alábbi értékekkel (3. táblázat). A szórást a minimum- és maximumértékek alapján határoztuk meg. A minimum- (Min) és maximum- (Max) értékek a kalibrált értékekhez képest $\pm 25\%$ -kal vannak kimozdítva a bizonytalanságvizsgálatban, mindegyik paraméter esetén.

3. táblázat: Bizonytalanságvizsgálat kimozdított értékei és szórásuk

	T (h)	K (h)	IS (mm)	k (mm/h)	IMP
Max	8,75	11,25	40	1,62	37,5
Min	5,75	6,75	10	0,54	22,5
μ	7	9	25	1,08	30

Forrás: a szerzők szerkesztése

A bizonytalansági futtatások során adódó eredmények szerint a beszivárgás sebességének (k) és a kezdeti telítettségnek (IS) nem volt számottevő hatása annak ellenére, hogy a talajvíz a területen nem jellemző, illetve a vízgyűjtőt majdnem teljesen jó vízemésztő képességű, löszös talaj borítja. A többi Monte Carlo-futtatás eredményét a 4. táblázatban foglaltuk össze, ahol a „közép” jelenti a kalibrált értékhez tartozó vízhozamcsúcsot és tetőzési időpontot, a „max” az intervallum maximális értékéből, a „min” a minimális értékéből származó vízhozamcsúcsot és tetőzési időpontot.

4. táblázat: Paraméterértékek kimozdításának hatására kialakuló eltérések a számított közép-, nagy és kis vízhozamban, valamint az összegyülekezési időben 1000 modellfuttatás után

	$Q_{\text{közép}}$ (m^3/s)	Q_{max} (m^3/s)	Eltérés	Q_{min} (m^3/s)	Eltérés	$T_{\text{közép}}$ (h)	T_{max} (h)	Eltérés	T_{min} (h)	Eltérés
T	12,2	12,98	6,39%	11,59	5,00%	9,67	8,57	11,41%	10,33	6,86%
K	11,73	13,8	17,65%	10,1	13,90%	11	10,82	1,67%	11,33	3,03%
IMP	11,67	14,55	24,68%	8,75	25,02%	10,17	11,17	9,84%	11,17	9,84%

Forrás: a szerzők szerkesztése

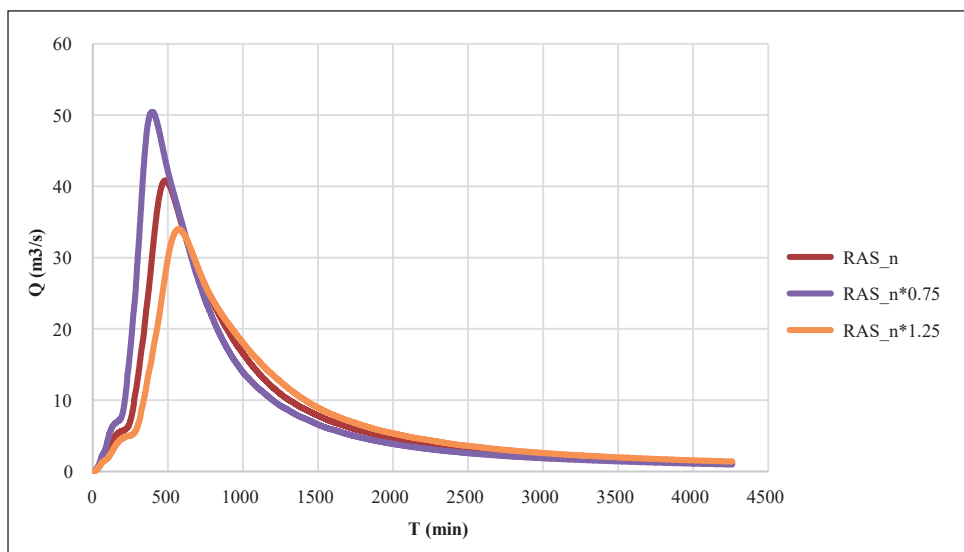
Összegyülekezési idő (T) esetében villámárvíz szempontjából sem a tetőzéssel szembeni időelőny változása, sem a maximális vízhozamnál jelentős változás nem tapasztalható (maximum 10% körüli az eltérés). A tározási együttható (K) változása is érdemben mennyiségi változást okoz (a csúcsok közti eltérés eléri a 17%-ot), az időbeli eltérés elhanyagolható. Ezen eltérések mértéke 1%-os relatív gyakoriságú csapadék esetén egy jól kiépített elvezető rendszeren nem szabad, hogy gondot jelentsen. Ugyanakkor a vízzáróság arányára (IMP) meglepően érzékenyen reagál a modell, vízhozam szempontjából az eltérés megegyezik a paraméter kimozdításának mértékével (~25%).

Az eredmény azzal is magyarázható, hogy összevont paraméterezésű modell esetében, nagy esésű, talaj szempontjából homogén, területhasználat szempontjából mérsékelt differenciált területen, a legérzékeny paraméter önmagában képes reprezentálni a vízgyűjtő érzékenységet.

A vízzáróság arányát kifejező paraméter (IMP), amely jelen esetben nem a klasszikus értelemben vett vízzáró felületeket (kőzet, burkolat stb.) foglalja magában. Jelen esetben a nagy intenzitású árhullám kialakulásakor azokat a paramétereket is, amelyeknek a gyorsan kialakuló felszíni lefolyásra nem tudnak hatást kifejteni. Ezek jellemzően a vízborított vagy vízmegállásos területek eloszlása és telítettsége, a növényzet fedettségének eloszlása és tározókapacitása, illetve a talaj vízemésztő képessége és kezdeti telítettsége.

A hidrodinamikai modell érzékenységvizsgálata

A hidrodinamikai modell esetében reprezentatív eredményt a redukátlan bemenő idősorhoz készített kalibráció ad (10. ábra). Látható, hogy az érzékenység hasonló az n együttható $\pm 25\%$ -os kimozdítására pozitív és negatív irányban egyaránt. Az illeszkedés hozam szempontjából megfelelő, időelőny tekintetében némileg szélesebb intervallumot mutat a hidrológiai modellhez képest.



10. ábra: Hidrodinamikai modell érzékenységvizsgálatának kiértékelése a kifolyási perem számított vízhozam idősorainak felhasználásával, n paraméter 25%-os kimozdítására

Forrás: a szerzők szerkesztése

Ugyanakkor a 25%-os változás, lepletszerű vízmozgás esetén – tekintve, hogy ilyen nagy csapadékokra téli, fagyott időszakban, amikor az érdeesség jóval kisebb, nem kell számítani –, megfelelően lefedi a vízgyűjtő természetes állapotának változásait. Megművelt vízgyűjtők esetében természetesen az évszakos állapotoknak megfelelően kell a modellt átkalibrálni. Ebben az esetben az érdeességi paraméter nemcsak közvetlen a felülettel való fizikai kapcsolat leírására alkalmas, hanem bizonytalanságából látszik a redukált csapadékmennyiség alapján, hogy következtetni lehet a vízgyűjtő aktuális telítettségi állapotára, vízmegállásos helyek hatására, abban az esetben, amikor mértékadó kezdeti feltétel nem áll rendelkezésre a kalibrált modell futtatásához.

Következtetések

A fenti vizsgálatok alapján természetes, nagy esésű, feltáratlan vízgyűjtő esetén az alábbi következtetések vonhatók le:

- A modellvizsgálatok alapján kimondható, hogy az egyes érzékeny paraméterek között a különböző modelleknél kapcsolat állapítható meg. Jelen esetben a hidrológiai modell alapján meghatározott lefolyást befolyásoló redukációs tényező, amely a hidrodinamikai modellnél a bemeneti peremfeltétel redukáló tényezőjeként jelenik meg. A lehetséges összefüggések vizsgálatához további kutatás szükséges.

- A vízgyűjtő megfelelően vizsgálható összevont paraméterezésű modellel a villámárvíz-kázattal szemben akkor is, ha csekélyebb mennyiségű adat (legalább geometriai adatok, kis felbontású talaj- és területhasználati térképek, legalább egy relatív gyakorisághoz tartozó mérési vagy statisztikai/analitikus alapon meghatározott vízhozamérték mint kontrolladat) áll rendelkezésre.
- A hidrodinamikai modell jó kiegészítése a hidrológiai modellnek, amennyiben egy megfelelő felbontású (például teljes mérettől függően 10–50 m-es osztású) rácsháló felépíthető. A hidrodinamikai modell pontosabb képet ad a lefolyásviszonyokról és a vízmegállásos területekről. Viszont a hidrológiai modell segítségével a kalibráció folyamatos visszaellenőrzése lehetséges.
- Bizonytalanság szempontjából nagy mértékű paraméterkimozdítás (25%) esetén az időelőny befolyásolása nem jelentős, azonban vízhozam szempontjából a vízzáróság arányának vizsgálatakor a bizonytalanság jelentősebb, tehát a modell tetőző vízhozammal szembeni érzékenységét egyértelműen reprezentálja.
- Az összevont paraméterezésből hidrológiai modellben, villámárvíz esetén, a legérzékenyebb paraméter segítségével lehet jellemezni a vízgyűjtő viselkedését. A vizsgált vízgyűjtő esetében a vízzárósági hányad eredményezte a legnagyobb bizonytalanságot. Ez azzal magyarázható, hogy a gyors összegyülekezés és lefolyás esetén nemcsak a fizikailag vízzáró felületek, hanem az időben lassabban felépülő veszteségek a vízzáróságot növelik.

Felhasznált irodalom

- ALSILIBE, Firas – BENE, Katalin (2021): Watershed Subdivision and Weather Input Effect on Streamflow Simulation Using SWAT Model. *Pollack Periodica: An International Journal for Engineering and Information Sciences*, 17(1), 88–93. Online: <https://doi.org/10.1556/606.2021.00349>
- ÁMON Gergely (2016): *Az Aszalvölgyi-csatorna mértékadó árvízi hozamának becslése a torkolatának rendezéséhez*. Szakmérnöki diplomamunka. Budapest: BME
- ÁMON, Gergely – BENE, Katalin (2019): *Adaptive Data Parameterization of Baseflow and Flashflood Models of an Ungaged Watershed*. 15th Miklos Ivanyi International PhD-DLA Symposium, Pecs, Hungary, October 28–29., Paper no. P-67.
- ÁMON, Gergely – BENE, Katalin (2022): *Impact of Hydrological, Hydraulic Modelling Approach to a Flash Flood Event in the Hidegvíz Watershed in Hungary*. Bécs, Hydrocarpath Conference, 2022. november 24.
- BRUNNER, Gary W. (2016): *HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual*. US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center, California. Online: www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/ras1dtechref/latest/theoretical-basis-for-one-dimensional-and-two-dimensional-hydrodynamic-calculations/2d-unsteady-flow-hydrodynamics
- CÁNOVAS, J. A. B. et al. (2011): Estimating Flash-Flood Discharge in an Ungauged Mountain Catchment with 2D Hydraulic Models and Dendrogeomorphic Palaeostage Indicators. *Hydrological Processes*, 25(6), 970–979. Online: <https://doi.org/10.1002/hyp.7888>
- FELDMAN, Arlen D. (2000): *Hydrologic Modelling system HEC-HMS. Technical Reference Manual*. Online: www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmstrm
- HAPUARACHCHI, H. A. Prasantha et al. (2011): A Review of Advances in Flash-Flood Forecasting. *Hydrological Processes*, 25(18), 2771–2784. Online: <https://doi.org/10.1002/hyp.8040>

- HUANG, Wei et al. (2015): Full 2D Hydrodynamic Modelling of Rainfall-induced Flash Floods. *Journal of Mountain Science*, 12(5), 1203–1218. Online: <https://doi.org/10.1007/s11629-015-3466-1>
- MÁTYÁS, Kevin – BENE, Katalin (2018): Using Numerical Modeling Error Analysis Methods to Indicate Changes in a Watershed. *Pollack Periodica: An International Journal for Engineering and Information Sciences*, 13(3), 175–186. Online: <https://doi.org/10.1556/606.2018.13.3.17>
- OSMAN, Sazali – ABUSTAN, Ismail (2011): Estimating the Clark Instantaneous Unit Hydrograph Parameters for Selected Gauged Catchments in the West Coast of Peninsular Malaysia. *ASEAN Engineering Journal Part C*, 1(3), 126–141.
- SZILÁGYI, József (2018): On the Clark Unit Hydrograph Model of HEC-HMS. *Periodica Polytechnica, Civil Engineering*, 62(1), 277–279. Online: <https://doi.org/10.3311/PPci.11141>

Balla Tibor,¹  Padányi József² 

Műszaki kiválóságok: vitéz dálnokfalvi Bartha Károly vezérezredes

Engineer Geniuses: Colonel General Károly Bartha of Dálnokfalva

A műszaki katonák felkészültsége, elkötelezettsége és nyitottsága az új iránt, koroktól és rendszerektől függetlenül ismert és elismert. A harctéren és a békében mutatott teljesítményük a magyar hadtörténelem lapjain megtalálható, az érdeklődők számára elérhető. Ezzel együtt úgy ítéltük meg, hogy ezt a szellemiséget érdemes egy-egy kiváló műszaki katona életén keresztül is bemutatni, felvillantva a feladatokat, a kihívásokat és az arra adott szakmai és emberi válaszokat. Nem célunk új hősokeket kreálni, igyekszünk objektív és szakmailag is izgalmas személyiségeket bemutatni.

Kulcsszavak: műszaki, parancsnok, kiválóság, hadtörténelem

Engineer soldiers' preparedness, alignment and openness towards innovation are well known and acknowledged irrespectively of ages and regimes. Persons showing an interest in their achievement displayed on the battlefield and peacetime are shown in the chapters of the Hungarian military history. We think, that it is worth demonstrating this intellectuality through distinguished engineer soldiers, highlighting the tasks, challenges and their professional and humane answers. It is not our goal to create new heroes; we just try to introduce objective and exciting personalities.

Keywords: engineer, commander, excellence, military history

¹ Kutatóprofesszor, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, e-mail: balla.tibor@uni-nke.hu

² Egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, e-mail: padanyi.jozsef@uni-nke.hu

Bevezetés

Bartha Károly 1884. június 18-án született Budapesten, dálnokfalvi Bartha Kálmán (1850–1942) magyar királyi honvéd vezérhadbiztos³ és Mehrbrodt Anna (1854–1941) fiaként, római katolikus vallású, erdélyi eredetű katonacsaládban.⁴ Szüleit haláluk után a budapesti Farkasréti temetőben helyezték örök nyugalomra.

Megnősült, felesége Fikeis Hanna volt. 1912. augusztus 26-án Budapesten született Rezső fia, aki apja hivatását választva honvédtiszt lett, s vezérkari századosként harcolt a második világháborúban. Sportolóként is jeleskedett: a magyar csapat tagjaként öttusában és vívásban szerepelt az 1936-ban Berlinben megrendezett olimpián. 1947-től Venezuelában élt, 2001. július 24-én Caracasban hunyt el, és ott is temették el.⁵



1. kép: Bartha Károly vezérezredes (1884–1964)

Forrás: <http://vitezirend.hu/CV%20&%20Award/vBartha%20Karoly%20vezds.htm>

Pályafutása

Bartha Károly a kor szokásainak és a közös hadsereg mindennapi gyakorlatának megfelelően több nyelven is nagyszerűen megértette magát. Németül és magyarul tökéletesen, franciául nagyon jól beszélt és írt, azonkívül angolul jól, olaszul pedig valamiképp beszélt.

Nyolcosztályos piarista főgimnáziumi tanulmányait kiváló eredménnyel és jeles érettségi vizsgával zárta Kolozsváron, majd 1901 és 1904 között a császári és királyi Műszaki Katonai Akadémiát végezte nagyon jó eredménnyel Bécsben.⁶

³ A katonai tisztviselők állománycsoportjába tartozó személy, akinek rendfokozata a vezérőrnagynak felelt meg.

⁴ SZAKÁLY 2001: 44.

⁵ GYŐR–KLÉSZ 2012: 132–133.

⁶ Hadtörténelmi Levéltár Budapest, Tiszti anyakönyvi lapok (a továbbiakban: HL AKVI) 3197/1890.

Tanulmányai befejezése után 1904. augusztus 18-án avatták hadnaggyá, s egyidejűleg a császári és királyi vasúti és távíróezredben kezdte meg katonatiszti pályafutását, ahol századszolgálatot látott el Korneuburgban. 1904-ben és 1905-ben gyalogsági lovaglótanfolyamot végzett el ugyanott, nagyon jó eredménnyel⁷ (2. kép).



2. kép: A Korneuburgban lévő laktanya korabeli képeslapon

Forrás: www.meinbezirk.at/korneuburg/c-lokales/damals-und-heute-albrechtksaserne-korneuburg_a1542065

1908. április 20. és 1908. július 24. között a császári és királyi vasúti és távíróezred ideiglenes zászlóalj segédtisztje volt, majd ismét századszolgálatot látott el alakulatánál. 1908. október 1. és 1911. május 1. között a három évfolyamos, császári és királyi felsőbb hadmérnöki tanfolyam hallgatója volt Bécsben, amelyet végig évfolyamelsőként, kitűnő eredménnyel fejezett be. Időközben, 1909. november 1-jén főhadnaggyá nevezték ki.⁸ A vasúti és távíróezrednél teljesített rövid szolgálat után, 1911. november 1-jétől a császári és királyi erődépítési igazgatóságon szolgált Budapesten, ahol kerületi építésvezetőként ténykedett a budapesti hídfőben, az utászrészleg parancsnokaként. 1911-ben a fiókintézet helyettes vezetőjeként működött Péterváradon és párhuzamosan az építési tiszt oktatója volt Budapesten. 1912. november 1-jétől az V. védőszakasz műszaki tisztjeként folytatta szolgálatát a dél-tiroli Trientben működő császári és királyi műszaki igazgatóságon. A Dél-Tirolban akkoriban folyt osztrák-magyar erődítési munkákban jelentős szerepet játszott. 1913. március 17-től 1914 novemberéig a dél-tiroli Cherle erőd⁹ építésének vezetőjeként és Folgaria vízellátásának felelőseként

⁷ HL AKVI 3197/1890.

⁸ SZAKÁLY 2001: 44.

⁹ A dél-tiroli Folgaria erődcsoporthoz tartozó Cherle (1914-től Sebastiano) erőd 1910–1913 között épült, 1445 méter tengerszint feletti magasságban. Lezárta a Sommo-hágóhoz, valamint az Astico-völgyből a Carbonaréba vezető utat. Személyzete 3 tisztből és 236 főnyi legénységből állt. 8 löveggel (4 db 10 cm-es toronytarack, 2 db 10 cm-es kazamata tarack, 2 db 6 cm-es kazamata ágyú), 17 géppuskával (10 pánccélkazamatában, 6 pánccéltoronyban, 1 pedig forgatható megfigyelőállásban elhelyezve), három 21 cm-es fényszóróval és egy optikai jelzőállomással (a szomszédos Lusern és Gschwent erődök irányába történő jelzésre) szerelték fel. Az építés kivitelezését osztrák (klagenfurti) civil cégek végezték, amelyet a trienti műszaki igazgatóság folyamatosan ellenőrzött. Mintegy 600 munkást foglalkoztattak az építkezésen folyamatosan. Az erőd Škoda által gyártott, forgatható pánccélkupoláiba épített lövegeinek beépítése után, 1913. szeptember 24-én próbálövészetet hajtottak végre a bécsi Műszaki Katonai Bizottság szakembereinek részvétele mellett. A Sebastiano erőd építése összesen 1 682 000 koronájába került a katonai költségvetésnek. Az erődöt és annak személyzetét átlagosan 2,5 méter

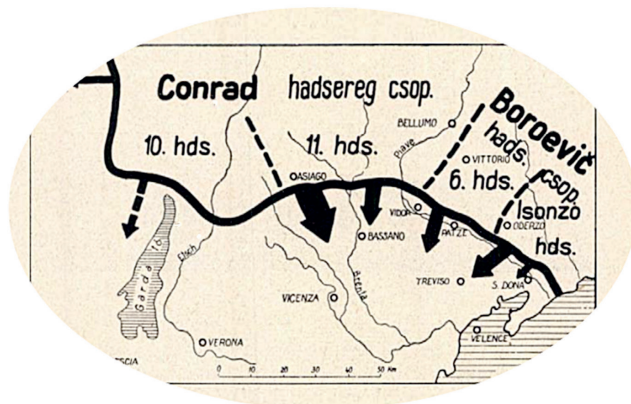
végzett felelősségteljes munkát. 1913. november 1-jén pedig kézhez kapta vezérkari századosi kinevezését, és átkerült a császári és királyi hadmérnök törzskarba.¹⁰

1913-ban a róla készült előljárói minősítésben kiemelték, hogy jó lovas, jó tornász, jó vívó, jó úszó, jó táncos, jó kerékpáros volt, és távirásként is megállta a helyét.

Az első világháborúban

Az első világháború idején, 1914. november 1-jétől különböző magasabb parancsnokságokon töltött be hadmérnöki beosztást. Először 1915 augusztusáig az orosz hadszíntéren tevékenykedett, ahol erődítések és állások kijelölésével, valamint kiépítésével járult hozzá jelentős mértékben az „orosz gőzhenger” megállításához. Azután ismét az olasz hadszíntéren szolgált, ahol az isonzoí csaták poklában műszaki előadóként működött, és közben önálló zászlóalj-, valamint harccsoportparancsnokként különleges feladatokat is eredményesen végrehajtott.

Fontos szerepet játszott az osztrák–magyar és német csapatok által 1917. október 24-én Flitschnél végrehajtott frontáttörés¹¹ műszaki előkészítésében. Az első világhégés utolsó évében is az olasz hadszíntéren, 1918. március 11-től a császári és királyi Conrad-hadseregcsoporthoz, majd 1918. július 20-tól a József főherceg-hadseregcsoporthoz szolgált műszaki tisztként. Közben 1918. május 1-jén vezérkari őrnaggyá léptették elő.



3. kép: A Monarchia csapatainak hadászati támadó terve 1918 tavaszán

Forrás: JACOBI et al. 1938: 173.

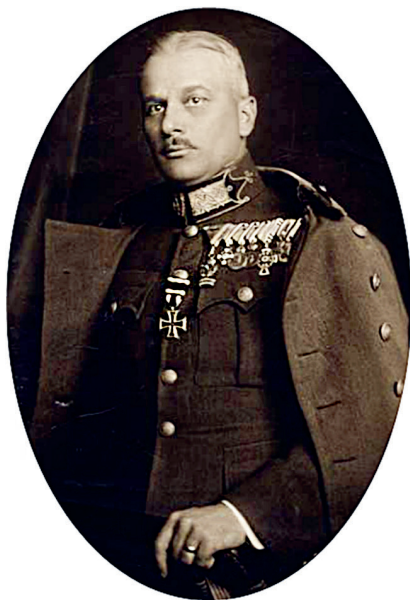
vastag betonfödém védte a 28 vagy 30,5 cm-es űrméretű ellenséges tüzérségi lövedékektől. Bartha Károly munkájának eredményességét mutatja, hogy az ellenséges olasz tüzérség egy 28 cm-es ütege intenzíven lőtte az erődöt (mintegy 3400 lövést adott le) 1915 júniusától 1915 októberéig, azonban azok annak betonfödémét nem ütötték át, s személyzetéből sem hunyt el senki. A tüzérségi bombázáson kívül az olasz gyalogság nem rohamozta meg az erődöt. A Sebastiano erőd lövegei az 1916. május 15-én megindult osztrák–magyar dél-tirolai offenzíva idején mind használhatók voltak, és aktívan részt vettek tüzükkel a hadművelet tüzérségi előkészítésében, több mint 5000 lövedéket kilőve a szemben található olasz állásokra. Vö.: HENTZSCHEL 2008: 15, 20–23, 26, 41, 201–208.

¹⁰ HL AKVI 3197/1890.

¹¹ A hadművelet a caporettoi áttörés néven híresült el a szakirodalomban. A frontáttörést a Flitsch és Tolmein közötti terepszakaszon hajtották végre sikerrel a központi hatalmak csapatai.

1918. szeptember 1-től a császári és királyi I. hadtestparancsnokság műszaki törzstisztjeként a Monte Grappa környékén vívott állásharcokban műszaki vezetőként vett részt.¹²

Az első világhétség után, 1918 novemberétől 1919 márciusáig terjedő időszakban Bartha a budapesti felszámoló erődépítési vezetőségénél, majd 1918. december 21-től a Honvédelmi Minisztérium 7. osztályának vezetőjeként folytatta szolgálatát. 1919. március végétől a Hadügyi Népbiztosság 62. osztályára beosztott tisztként szolgált. 1919. május 6-tól a Vörös Hadserg főparancsnokság műszaki összekötő tisztjeként tevékenykedett Gödöllőn. 1919 augusztusában belépett a Nemzeti Hadseregbe. 1919. szeptember 1-jén vezérkari alezredessé nevezték ki, és a Honvédelmi Minisztérium kiképzési osztályának műszaki előadója lett. 1921. december 1-től a Honvédség Főparancsnokának műszaki szakelőadójaként vált neve ismertté, majd 1922. szeptember 1-én vezérkari ezredesi kinevezést kapott (4. kép).



4. kép: Bartha Károly ezredes
Forrás: a szerzők gyűjteménye

1926. május 1-től a Honvédség Főparancsnokának műszaki szemléllője volt, 1930. május 1-től – korabeli megnevezéssel – tábornoki (vagyis vezérőrnagyi) rendfokozatban. 1932. augusztus 1-jén a Honvédelmi Minisztérium anyagi csoportfőnökévé nevezték ki. 1936. január 1-től a Honvédelmi Minisztérium Katonai Főcsoportjának főnökeként (s egyúttal a honvédelmi miniszter állandó helyetteseként) szolgált, 1936. május 1-től altábornagyként, 1938. november 1-től pedig tábornagyi rendfokozatban.

¹² HL AKVI 3197/1890.

Honvédelmi miniszterként

1938. november 15-től 1942. szeptember 24-ig honvédelmi miniszterként ténykedett szolgálaton kívüli tábornagyként, 1941 augusztusától pedig szolgálaton kívüli vezérezredesként (5. kép). Miniszterként feltétlenül hitt a magyar–német katonai és politikai együttműködésben, szorgalmazta Magyarország belépését a második világháborúba és a Szovjetunió elleni háborús részvétel mellett tette le a voksát. Mind ő, mind Werth Henrik vezérkari főnök folyamatosan memorandumokkal bombázta a politikai vezetést a németekkel való viszony szorosabbra fűzésére. Mandátuma idején történtek a bécsi döntések, a Bácska és a Mura-vidék megszállása, valamint Kassa bombázása, minek okán 1941. június 26-án Magyarország belépett a második világháborúba.

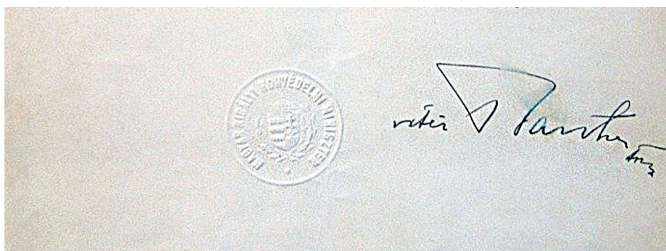


5. kép: Horthy Miklós kitüntetést ad át, balra hátul Bartha Károly vezérezredes, honvédelmi miniszter
Forrás: <https://xn—fotk-sqa.hu/picture.php?/37248>

Érdeemes itt felidézni miniszterként elmondott parlamenti beszédét, amelyben a honvédelmi költségvetést indokolta, 1939-ben:

„A háborút ma már nemcsak a hadseregek, hanem a nemzet apraja-nagyja, az egész állam hatalmi és gazdasági gépezete vívják. A honvédelem gerince azonban mindenkor a hadsereg marad. A haditechnika rohamos fejlődése minden államháztartástól rendkívül nagy erőfeszítéseket követel, kiváltképpen tőlünk, minthogy nekünk a trianoni kényszerű mulasztásokat a lehető legrövidebb idő alatt kell pótolnunk, hogy a történelem szava készületlenül ne találjon bennünket. Úgy vélem, elegendő lesz, ha a légierők és a motorizálás fejlesztésének szükségességére mutatok rá, amelynek fontosságát a közelmúlt napokban, úgyszólván szemekink előtt lejátszódott történelmi események éppen eléggé szemléltetően bebizonyították. Hála

nemzetünk józan megértésének és áldozatosságának, aligha akad valaki e házban, aki ne lenne meggyőződve arról, hogy utolsó fillérünket is fel kell áldoznunk a honvédelem tökéletesítése érdekében. [...] Megnövekedett honvédelmi kiadásaink azonban még mindig nem érik el azokat a hatalmas összegeket, amelyeket korszerű hadsereggel rendelkező nemzetek hadseregeikre fordítanak. A honvédséget az ország érdekeinek megfelelően átszerveztük. Ezzel párhuzamosan ez év tavaszán alkotott új honvédelmi törvényünkkel a nemzet minden erejét létküzdelmünk szolgálatába állítottuk. A háborús önellátás érdekében hadiiparunkat kifejlesztettük. Ez viszont a munkanélküliség leküzdése szempontjából éreztette jótékony hatását. Nyersanyagkészleteink biztosítására is nagy súlyt vetettünk. A hiányzó anyagokat tárolás és pótanyagok felhasználásával igyekszünk fedezni. Beszerzéseknél vezérely a magyar ipar foglalkoztatása. Csakis akkor jöhet tekintetbe a külföldről történő beszerzés, ha hazai iparunk a gazdaságos gyártásra berendezkedve nincs. [...] A kormány teljes tudatában van annak, hogy a háború áldozatairól gondoskodni elsősorban állami feladat.”¹³ (6. kép)



6. kép: Bartha Károly aláírása egy miniszteri levélen, 1940. február 9.

Forrás: www.vatera.hu/1940-kormanyzo-elhatarozas-szarazpecsettel-sk-alairas-vitez-bartha-honvedelmi-miniszter-3333814829.html

Szakmai érdemeit és tehetségét több osztrák–magyar, valamint magyar katonai kitüntetés adományozásával is elismerték. 1908. december 12-én a Katonai Jubileumi Keresztet, 1915. április 10-én a Bronz Katonai Érdemérmét (később kardokkal), 1915. augusztus 1-én a Katonai Érdemkereszt III. osztályát hadidíszítménnyel (később kardokkal), 1917. június 11-én az Ezüst Katonai Érdemérmét kardokkal, 1917. november 25-én az Osztrák Császári Vaskorona Rend III. osztályát hadidíszítménnyel és kardokkal, 1917 novemberében a Vöröskereszt II. osztályú Díszjelvényét kapta meg.

1924. augusztus 18-án a Tiszti Katonai Szolgálati Jel III. osztályát, 1926. június 19-én a Magyar Érdemkereszt III. osztályát, 1928. május 30-án a Magyar Érdemrend tisztí keresztjét, 1940. október 6-án a Magyar Érdemrend Szent Koronával ékesített nagykeresztjét, 1940. januárjában a Magyar Vöröskereszt Érdemcsillagát, 1941. június 17-én a kormányzói Különös Dicsérő Elismerés látható jeléül adományozott Magyar Koronás Nagy Aranyérmét hadiszalagon, 1942. szeptember 24-én pedig a Magyar Koronás Nagy Aranyérmét újólag adományozták számára.

A felsorolt kitüntetésekén kívül 1932. augusztus 27-én a honvédség főparancsnoka okirati dicsérő elismerésben részesítette „a honvédség főparancsnoka mellé beosztott

¹³ *Nemzeti Ujság*, 1939. november 10. 5.

műszaki szemléltői beosztásában, a műszaki csapatok szervezése és kiképzésének irányítása körül – 10 éven át – kifejtett kiválóan eredményes és igen értékes teljesítményeiért".¹⁴

A külföldi kitüntetések közül 1917 decembere óta birtokolta a Német (Porosz) Vaskereszt II. osztályát.¹⁵ 1939. szeptember 22-től a Nagy Szent Gergely Rend nagykeresztjét, 1939. december 5-től a Német Sas Rend nagykeresztjét, 1941. február 7-től a Bolgár Katonai Érdemrend nagykeresztjét, 1941. március 7-től a Finn Fehér Rózsa Rend nagykeresztjét, 1941. november 12-től pedig a Német Sas Rend nagykeresztjét kardokkal viselhetette.

A németek iránti elkötelezettsége is oka volt felmentésének, hiszen 1942 őszén a magyar kormány már a Németországhoz fűződő kapcsolatok lazításán dolgozott. Felmentése után, 1942 októberében nyugállományba vonult és visszavonult a közélettől.¹⁶ 1945. június 19-én közigazgatási úton lefokozták és a honvédség kötelékéből kicsapták.

Közéleti munkássága

1925. december 1-jén mérnöki címet adományoztak számára, egyúttal a Budapesti Mérnöki Kamara tagságát is elnyerte. 1929. június 16-án vitézzé avatták.¹⁷ 1939. március 13-án magyar királyi titkos tanácsossá nevezte ki Magyarország kormányzója.¹⁸ 1933-ban az Országos Háborús Műszaki Emlékmű Bizottság társelnöke volt. Emellett rendes tagja volt az 1925-ben alakult Magyar Katonai Írók Körének, amelyet azért hoztak létre, hogy hathatósan támogassa a magyar katonai irodalmat.¹⁹

Több írásmű is köthető a nevéhez. Összesen egy szaktanulmány és két könyvfejezet szerzője volt, amelyeket a következőkben mutatunk be részletesebben.

A tankokról írott művében már 1922-ben felhívja a figyelmet a tankok növekvő szerepére:

„Szoktassuk tehát már a békekiképzésnél embereinket ezekhez a tűzokádó szörnyetegekhez, szerepeltessük azokat legalább föltételezve minden békegyakorlatnál és oktassuk behatóan, mint kell a tankokkal szemben viselkedni és eredményesen védekezni. Emellett egyelőre kísérjük figyelemmel a tankok fejlődését anyagilag szerencsésebb helyzetben levő szomszédainknál, mert minden mulasztást e téren, azaz minden meglepetést a háborúban drága embervérrel kell megfizetnünk.”²⁰

Az írásban sorra veszi a tankok alkalmazásának lehetőségeit (felderítés, támadó gyalogság közvetlen támogatása, visszavonuló ellenség dinamikus üldözése, védelemben a manőverek

¹⁴ *Honvédségi Közlöny*, 1932. szeptember 15. 191.

¹⁵ HL AKVI 3197/1890.

¹⁶ Ács 1994: 106. A korabeli budapesti telefonkönyv bejegyzései szerint 1936–1943 között az I. majd XII. kerületi Bors út 2. alatt lakott.

¹⁷ Ács 1994: 106.

¹⁸ SZAKÁLY 2001: 44.

¹⁹ *Magyar Katonai Közlöny*, 1925. 156.

²⁰ BARTHA1922: 59–73.

támogatása). Foglalkozik a tankok elleni védekezéssel is, kiemelve a terepakadályok kiépítését, a harckocsi elleni aknák célszerű telepítését, a közvetlen irányzású ágyúk használatát.

1939-ben egy másik területen mutatta meg íráskészségét. A belügyminiszter felkérésére a honvédelemről, a szociálpolitikáról és a közigazgatásról mondta el gondolatait. Ebben az új honvédelmi törvény kapcsán leszögezte:

„A korszerű törvény az ország összes anyagi és erkölcsi erőforrásait egyesíti a honvédelem szolgálatában. Ez a hatalmas munka – amely ma lelkiismeretes békebeli előkészítés nélkül megvalósíthatatlan – a Legfelső Honvédelmi Tanács irányítása mellett, a közigazgatásra vár. Elsőrendű szerepe jut ezen a téren a mindenre kiterjedő, helyes szociálpolitikának, vagyis a népesség széles rétegeiről való gondoskodásnak, mert e nélkül a honvédelem szempontjából nélkülözhetetlen egészséges, nemzeti közszellem kialakulására nem számíthatunk. [...] Minden modern honvédelmi törvény a következő alapelveken épül fel:

1. az ifjúság katonai előképzése;
2. a katonai kiképzés és továbbképzés;
3. a hadsereg átütő erejét biztosító anyagi feltételek megteremtése és
4. a mögöttes országrészek háború esetére való megszervezése. Ide tartozik nagy részben a légvédelem megszervezése is.

A polgári közigazgatás feladata, hogy szociális intézkedésekkel erős és ellenálló emberanyagot neveljen; az ifjúság nevelése pedig a katonai szolgálatra készít elő [...]. [M]egállapítható, hogy a honvédelem és a közigazgatás a legszorosabban fonódik össze és hogy az általános védkötelezettség törvénybeiktatásával egyidejűleg rendezettek mindazok a szociális problémák is, amelyek a trianoni szerződés folytán előállott megkötöttség miatt eddig nem voltak megoldhatók. Nem is olyan régen még csak kívánság volt az, hogy ne legyen különbség katona és polgár között: ma elmondhatjuk, hogy valóban nincs! Ma már csak katonaruhában járó polgárok és polgári ruhában járó katonák vannak.”²¹

Szintén ezzel a kérdéssel foglalkozott 1943-ban. Ahogy ekkor írja:

„[A] háborús közigazgatás akkor van hivatása magaslatán, ha – bár kisebb karéjt is – de mindenkinek juttat kenyeret, ha a protekciót s a haszonlesést irtja, ha gondoskodik a harcolókról és családjaikról, ügyel a hősök megbecsülésére, érdemeik elismerésére, érdekeik megvédésére s minden erejével azon van, hogy a győzelmi akarat fennmaradjon, sőt fokozódjék. [...] A közigazgatás tisztviselői kara tartsa mindig szem előtt azt, hogy a háborúban nem azért marad vissza szolgálati helyén, hogy a háború veszélyétől mentesítve legyen, hanem azért, hogy a hazai, a belső fronton a végső önfeláldozásig küzdjön, vállalva a kint harcoló sereggel. Ez is katonai, honvédelmi szolgálat a szó legnemesebb értelmében, mert legalább is olyan önfeláldozást, olyan kötelességérzetet, hazaszeretetet és áldozatkészséget követel, mint maga a harctéri szolgálat.”²²

²¹ BARTHA 1939: 11–15.

²² BARTHA 1943: 7–9.

Befejezés

Bartha a második világhégés utolsó hónapjaiban Németországba távozott. Onnan 1947-ben családjával Venezuelába emigrált, ahol az 1950-es években út- és vasútépítő mérnökként dolgozott.²³ Feljegyezték róla, hogy „az útépítéseken végzett ötéves munkájával megteremtette a nyugdíját! Így ő az egyedüli nyugdíjas katona, sőt az egyetlen nyugdíjas miniszterünk is az emigrációban”²⁴ (7. kép).



7. kép Bartha Károly és felesége 1961-ben

Forrás: Harald Pöcher és Katharina Schwetz magángyűjtemény

A későbbiekben visszatért Európába és Ausztriában telepedett le, ahol 80 éves korában, 1964. november 22-én Linz városában hunyt el.²⁵ 1964. november 27-én a linzi Szent Mártonról elnevezett városi temetőben helyezték örök nyugalomra²⁶ (8. kép).

Bartha Károly műszaki katonaként szolgált az első világháborúban, az olasz és orosz hadszíntéren is megmutatta felkészültségét. A háború során mindvégig műszaki beosztásokban szolgált, olyan feladatokon dolgozva, mint az 1918. tavaszi olasz támadó hadművelet műszaki munkái, vagy az orosz támadás megállítását célzó erődítési munkálatok.

Katonasorsa úgy hozta, hogy később mint honvédelmi miniszter szolgálja hazáját. Ebbéli szerepének megítélése, a jó és rossz döntések számbavétele nem feladata írásunknak.

²³ SZAKÁLY 2001: 44.

²⁴ *Magyarság*, 1954. április 16. 3.

²⁵ Ács 1994: 106.

²⁶ Kriegssarchiv Wien, Partenzettel von Vitéz Karl Josef Bartha von Dálnokfalva.



8. kép: Bartha Károly síremléke Linzben, a városi temetőben

Forrás: Harald Pöcher felvétele

Felhasznált irodalom

Szakirodalom

- Ács Tibor et al. (1994): *Honvédelmi miniszterek 1848–1994*. Budapest: Zrínyi.
- BARTHA Károly (1922): A tankokról. *Magyar Katonai Közlöny*, (1), 59–73.
- BARTHA Károly (1939): A mai magyar szociálpolitika. In MÁRTONFFY Károly (szerk.): *Honvédelem – közigazgatás – szociálpolitika*. Budapest: Állami Nyomda, 11–15.
- BARTHA Károly (1943): A közigazgatás szerepe a honvédelemben. In MÁRTONFFY Károly (szerk.): *A mai magyar honvédelmi igazgatás*. Budapest: Állami Nyomda, 7–9.
- GYŐR Béla – KLÉSZ László (2012): *Katonaolimpikonok*. Budapest: Zrínyi.
- HENTZSCHEL, Rolf (2008): *Festungskrieg im Hochgebirge. Der Kampf um die österreichischen und italienischen Hochgebirgsfront in Südtirol im Ersten Weltkrieg*. Bozen: Verlagsanstalt Athesia.
- JACOBI Ágost – SZEDERJEI Elemér – ROHRINGER Sándor – vitéz TÖLGYESY Péter (1938): *Magyar műszaki parancsnokságok, csapatok és alakulatok a világháborúban*. Budapest: Közlekedési Nyomda K.F.T.
- SZAKÁLY Sándor (2001): *A magyar katonai felső vezetés 1938–1945. Lexikon és adattár*. Budapest: Ister.

Levéltári és egyéb források

- Hadtörténelmi Levéltár Budapest, Tiszti anyakönyvi lapok, 3197/1890.
Honvédségi Közlöny, 1932. szeptember 15.
- Kriegsarchiv Wien, Partenzettel von Vitéz Karl Josef Bartha von Dálnokfalva.
Magyar Katonai Közlöny, 1925.
- Magyarság*, 1954. április 16.
- Nemzeti Ujság*, 1939. november 10.
- Rendeleti Közlöny a Magyar Királyi Honvédség számára 1919–1923.

Ádám Balázs¹ 

Mesterséges intelligencia a tűzszerészfeladatokban – Tűzszerész Támogató Információs Rendszer szoftveres alapjai, 3. rész²

Artificial Intelligence in Explosive Ordnance Disposal Tasks – Software Basics of EOD Support Information System, Part III

A „Mesterséges intelligencia a tűzszerészfeladatokban” című négyrészes cikksorozat fő célja a *Mesterséges Intelligencia Alapú Tűzszerész Támogató Információs Rendszer* bemutatása. A cikksorozat 3. részében szó esik a képelemzés szoftveres és matematikai hátterének lényegéről, ami alapján a mesterséges intelligencia egy adott képet az előre meghatározott csoportok valamelyikébe sorol. A képelemző szoftver működése jelenti a tűzszerészek támogatását végző program legfontosabb elemét.

Kulcsszavak: tűzszerész, mesterséges intelligencia, robbanótestek, felismerő rendszer, aknagránát

The main goal of the four-part article series entitled Artificial Intelligence in EOD Tasks is to present the EOD Support Information System Based on Artificial Intelligence. In Part 3 of the series of articles, the essence of the software and mathematical background of image processing, on the basis of which the artificial intelligence classifies a given image into one of the predefined groups. The operation of the image processing software is the most important element of the EOD supporting program.

Keywords: EOD, artificial intelligence, explosive ordnance, recognition system, mortar rounds

¹ Szakaszparancsnok, MH 1. Tűzszerész és Folyamőr Ezred, e-mail: adam.balazs@mil.hu

² A publikáció az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-21-1-I-NKE-93 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

Bevezetés

A Mesterséges Intelligencia Alapú Tűzszerezés Támogató Információs Rendszer célja, hogy a tudomány jelen állása szerinti legkorszerűbb feltételeket nyújtsa a tűzszerezés műveletek irányításának és szervezésének támogatására. Ezt a vezetési támogatást a mesterségesintelligencia-alapú képelemző szoftver biztosítja, amely valós idejű és szűrt, tehát megfelelően hitelesített adatokat biztosít a parancsnok részére a minél pontosabb és körülményesebb döntéshozatalhoz. A rendszer gyakorlati felhasználására két területen, egyrészt a rendőrszolgálat, másrészt a tűzszerezés területén tevékenysége során kerülhet sor.

Mesterségesintelligencia-alapú tűzszerezés-támogató információs rendszer

A mesterségesintelligencia-, vagyis a MI-³ alapú szoftvert a lakossági bejelentést követően a kiterjedő rendőrszolgálat tudná első lépésben felhasználni, aki ennek segítségével meghatározhatja a robbanótest kategóriáját (nyolc alapvető kategóriát különböztettem meg), illetve a tűzszerezés műveleti vezetés kérésére további csoport és alcsoport, tehát a konkrét eszköz meghatározása is történhet. Ennek és az eszköz helyzetének ismeretében sokkal egyszerűbbé válna a robbanótest-mentesítés prioritásának (sürgősségének) meghatározása, valamint következtetni lehetne a mentesítéshez szükséges alapvető felszereléseken (például robbanóanyag) túl az esetleges speciális eszközre (például csörlő, emelődaru, vegyvédelmi biztosítás) is. Másik fontos alkalmazási területet jelentene a bejelentések során a tényleges robbanótestek és a nemrobbanó testek (NRT) megkülönböztetése. Ugyanis a bejelentések hozzávetőleg 10%-a nemrobbanó test,⁴ ami az éves átlag (2000 riasztás) esetében már nem elenyésző szám.⁵ A szoftver segítségével az ezekre a bejelentésekre fordított személyi, anyagi és technikai kiadásokat lehetne megspórolni. A fejlesztés egy későbbi szakaszát követően a tűzszerezés feladat-végrehajtását is támogathatja a rendszer, amennyiben a hosszú tanítási folyamat eredményeként a tévesztés kockázata már minimálisra redukálódott. Ebben az esetben a felismerő szoftver önállóan képes lenne azonosítani a robbanótestet, és egy tűzszerezés-mentesítő robot vezérlésébe integrálva azt képes lehet a hatástalanítás egyes meghatározott folyamatait autonóm módon végrehajtani.

A támogatás lényege, hogy az előtalált robbanótestről a Magyar Honvédség (MH) Tűzszerezés Ügyeletére beérkező első információk alapján minél pontosabban behatárolják az eszköz kategóriáját és típusát. Az így megszerzett információk alapján az eszköz veszélyességi foka is sokkal nagyobb valószínűséggel behatárolható, illetve a feladatra küldhető, átirányítható járőrök felszerelésének, fogyó anyagainak és robbanószer mennyiségének függvényében azok sokkal nagyobb precizitással, hatékonysággal irányíthatók át egyik feladatról a másikra. Ezek

³ Angol megnevezése: Artificial Intelligence – AI.

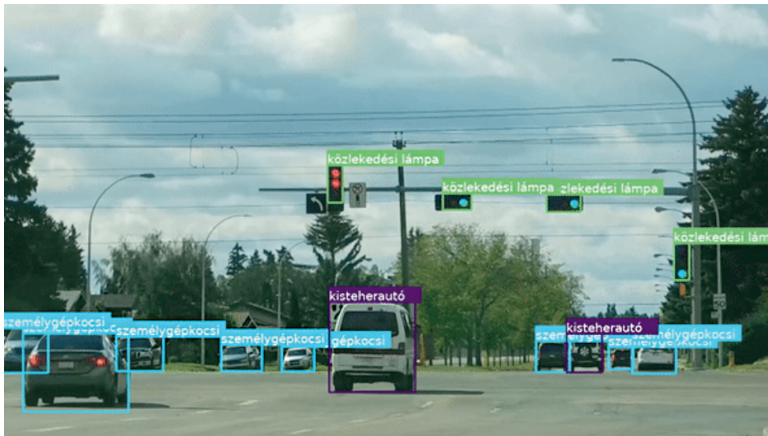
⁴ EMBER 2020a: 59–63.

⁵ EMBER 2020b: 32–42.

olyan képességek, amelyek akár már néhány éven belül is az MH 1. Tűzserész és Folyamőr Ezred (a továbbiakban: Tűzserész Ezred) parancsnoki állománya számára átfogó és hiteles döntéstámogatást nyújthatnak.

Objektumfelismerés vagy képelemzés

Napjaink MI-kutatásai legnagyobb számban az objektumfelismerés vagy képelemzés témájában zajlanak. Az objektumfelismerés kifejezést gyakran szinonimaként használják a képelemzés és képfeldolgozás szavakra, de a két fogalom között van lényeges eltérés is.⁶



1. ábra: Objektumfelismerés a valóságban

Forrás: Objektumfelismerő (képfelismerő) AI-megoldásunk 2019

Az objektumfelismerés fogalmát leggyakrabban azokra a szoftverekre kell érteni, amelyek élő képen, de inkább videós anyagon képesek kategorizálni és felismerni az előre betáplált alakzatokat. Ezek egymástól gyökeresen eltérő méretű, formájú, színű és egyéb tulajdonságú tárgyak, eszközök. Éppen ezért a program célja csupán a tárgyak egymástól történő megkülönböztetése (1. ábra) és nem az azonos tárgyak közötti különbségek vizsgálata.⁷

Ezzel szemben a képelemzés (Image Processing) lényege, hogy az egymáshoz nagyon hasonló tárgyak, tárgykategóriák között az adatbázis felhasználásával a tanulási folyamat eredményeként a létrejövő neurális háló képes legyen minimális, apró színbeli, formabéli vagy más eltéréseket azonosítani, majd betanulni, és így valamekkora bizonytalansággal a későbbiekben a felhasználás során meg is különböztetni azokat. Tehát a képelemzés már sokkal precízebb és pontosabb beazonosítást eredményez,⁸ mint az objektumfelismerés, de

⁶ Objektumfelismerő (képfelismerő) AI-megoldásunk 2019.

⁷ SHARMA 2019; KORSTANJE 2020.

⁸ A képelemzés két fajtáját különböztetik meg: az analóg és digitális felismerést. Analóg felismerés esetén egy elkészült kép egyes pontjaihoz, pixeleihez rendelnek színértéket, így a kép egy számokkal leírható adathalmazzá válik, ami utána már változtatható. Ezt a technológiát használják a régi képek vagy videók digitális újrászínezéséhez.

amennyiben a nagy eltérésekkel rendelkező objektumok valós idejű felismerése a cél, abban az esetben az objektumfelismerés eszközeinek alkalmazása a leghatékonyabb megoldás.⁹

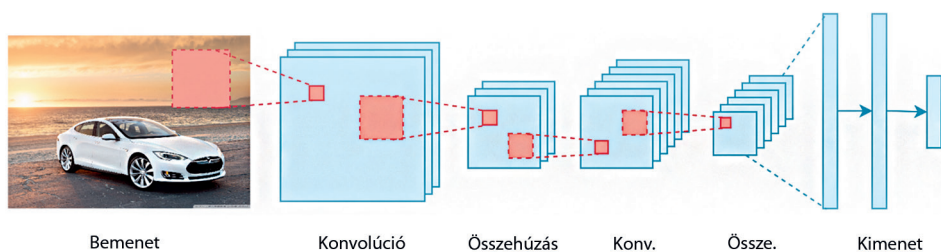
Az objektumfelismerés- és a képelemzés-technológiákat alkalmazó számos katonai és polgári fejlesztés látott már napvilágot, ezekről terjedelmi megfontolások miatt nem esik szó, de a hivatkozott cikkekben többet is meg lehet tudni róluk.¹⁰

Az objektumfelismerés tűzserész szakfeladatokban történő egyik alkalmazási lehetősége lenne az improvizált robbanóeszközök¹¹ egyes elemeinek, mint például a robbanóanyag-töltet, a detonátor, az indító mechanizmus, az áramforrás és vezetékek, az időzítő berendezés, a hatásfokozó repeszek vagy a rejtést szolgáló különböző álcázó burkolat felismerése.¹² Ezek azonosítása kiemelt fontosságú, ugyanis a Közel-Kelet műveleti területein a saját csapatainkra mért támadások jelentős részét ilyen IED-k alkalmazásával hajtják végre.¹³

A képelemzés elvi működése

A konvolúciós neurális hálóról¹⁴ a cikksorozat 2. részében már esett szó, ezúttal pedig célszerű azok működési elvét is megvizsgálni (2. ábra), hogy megértsük szerepüket a képelemzés területén. A konvolúciós hálózatok jelentősen eltérnek a többi neurális háló-típusoktól. Ez leginkább azzal magyarázható, hogy ezeket a hálókat kifejezetten képi felismerésre fejlesztették ki.¹⁵

Fő előnye elődeihez képest, hogy emberi felügyelet nélkül, automatikusan is képes felismerni a fontosabb eltéréseket. Például macskákról és kutyákról készült képek alapján képes megtanulni az egyes csoportok jellegzetes vonásait, így azokat meg tudja különböztetni egymástól. Minden CNN-modell hasonló architektúrát követ, amint az az 2. ábrán látható.¹⁶



2. ábra: Konvolúciós folyamatok

Forrás: DERTAT 2017 alapján a szerző szerkesztése

A digitális képek esetében pedig a képek pixeleihez már alapvetően hozzá van rendelve egy adat (x, y koordináta és szín), így az átalakítás nem szükséges. *Analog Image Processing vs. Digital Image Processing* [é. n.].

⁹ *Image Processing Definition, Examples and Application* [é. n.].

¹⁰ NÉMETH-VIRÁGH 2022: 2–7; NÉMETH-VIRÁGH 2023: 2–6.

¹¹ Angol megnevezése: Improvised Explosive Device – IED.

¹² KOVÁCS 2012: 37–52.

¹³ TOMOLYA-PADÁNYI 2012: 34–67.

¹⁴ Angol megnevezése: Convolutional Neural Network – CNN.

¹⁵ TÓTH 2019.

¹⁶ *What Is Deep Learning? 3 Things You Need to Know* [é. n.].

Az elemzésre váró kép a rendszer bemeneti információja, ez az input. A háló a kép egyes kijelölt részeiről egy számot generál a konvolúció matematikai formuláival. A konvolúciós műveletek összekapcsolódásával, azok sorozataként jön létre a neurális háló, amelyet számos teljesen összekapcsolt réteg alkot. A folyamat végén, az osztályozás (többosztályos) során létrejön a kimenet, a softmax. A CNN fő eleme a konvolúciós réteg. A konvolúció matematikai művelet két információhalmaz összevonására. Esetünkben a konvolúciót a bemeneti adatokra alkalmazzuk egy konvolúciós szűrő segítségével, így létrejön a jellemzőtérkép.¹⁷

1	1	1	0	0
0	1	1	1	0
0	0	1	1	1
0	0	1	1	0
0	1	1	0	0

3. ábra: Konvolúció bemenete

Forrás: DERTAT 2017 alapján a szerző szerkesztése

1	0	1
0	1	0
1	0	1

4. ábra: Konvolúciós szűrő

Forrás: DERTAT 2017 alapján a szerző szerkesztése

A példa kedvéért a 3. ábrán látható konvolúciós réteg a bemeneti kép, míg a 4. ábrán a konvolúciós szűrő, az úgynevezett kernel. A szűrő alakja miatt a példában bemutatott folyamatot 3×3-as konvolúciónak nevezik. A konvolúciós műveletet úgy hajtjuk végre, hogy ezt a kernelt a bemenetre helyezzük. Minden helyen elemenkénti mátrixszorzást végzünk a kernelben és a bemenetben található értékekre, majd az eredményt összegezzük. Ez az összeg kerül be a jellemzőtérképbe. Azt a „zöld területet”, ahol a konvolúciós művelet végbemegy, receptív mezőnek nevezzük. A szűrő méretéből adódóan a receptív mező is 3×3-as méretű. Az 5. ábrán látható, ahogy a szűrő a bal felső sarokban van, a mátrixműveletek elvégzése után pedig, a konvolúciós művelet kimeneteként a jellemzőtérképen megjelenik a „4” kapott érték (6. ábra). Ezután jobbra kell csúsztatni a kernelt, és végre kell hajtani ugyanazt a műveletet, hozzáadva az eredményt a jellemzőtérképhez. Ezt a módszert folytatva elkészül a teljes térkép (7. ábra).¹⁸

¹⁷ DERTAT 2017.

¹⁸ DERTAT 2017; BROWNLEE 2020.

1×1	1×0	1×1	0	0
0×0	1×1	1×0	1	0
0×1	0×0	1×1	1	1
0	0	1	1	0
0	1	1	0	0

5. ábra: Bemenet és a kernel

Forrás: DERTAT 2017 alapján a szerző szerkesztése

4		

6. ábra: Jellemzőtérkép részlet

Forrás: DERTAT 2017 alapján a szerző szerkesztése

4	3	4
2	4	3
2	3	4

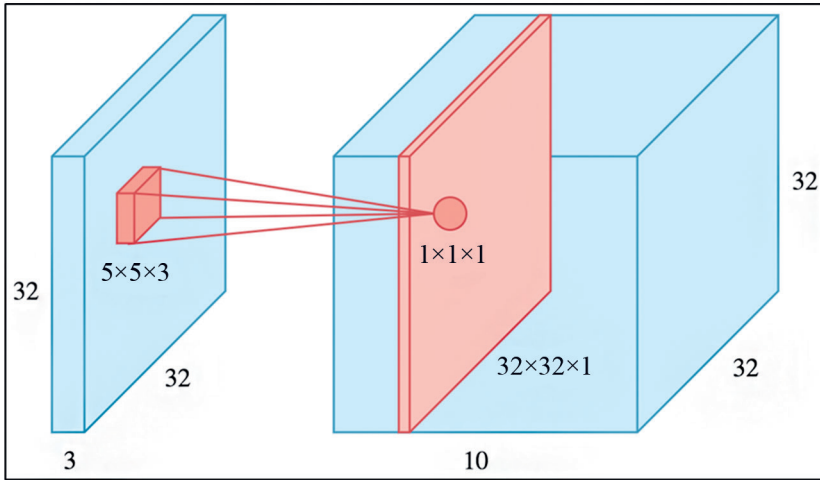
7. ábra: Teljes jellemzőtérkép

Forrás: DERTAT 2017 alapján a szerző szerkesztése

A példa szerinti konvolúciós műveletet két dimenzióban (2D) mutattuk be, 3×3-as szűrő használatával, de a tényleges felhasználás során ezeket a konvolúciókat három dimenzióban (3D) hajtják végre. A valóságban egy kép 3D-s mátrixként jelenik meg magassággal (y koordináta), szélességgel (x koordináta) és mélységgel, ahol a mélység a színcsatornáknak (RGB)¹⁹ felel meg. A konvolúciós szűrőnek meghatározott magassága és szélessége van, például 3×3 vagy 5×5, és kialakításánál fogva lefedi a bemenet teljes mélységét, ezért is kell 3D-snek lennie. Az eredményes vizsgálathoz több konvolúciót kell végrehajtani egy bemeneten, mindegyik esetben más-más szűrőt használva, amely így eltérő jellemzőtérképet eredményez. Ezt köve-

¹⁹ Red–Green–Blue színmodell.

tően egyesíteni kell ezeket a jellemzőtérképeket, és ez lesz a konvolúciós réteg végső kimenete. A 8. és 9. ábrákon egyetlen szűrő alkalmazásával készült folyamatra láthatunk példát.²⁰

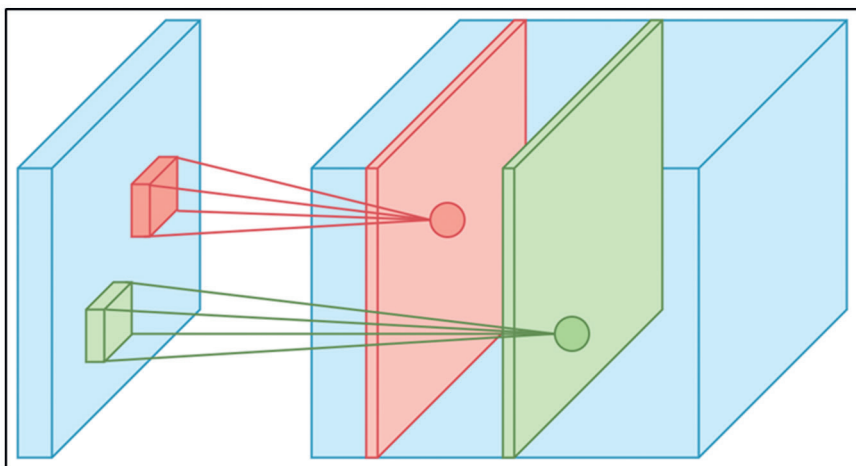


8. ábra: 3D konvolúció
 Forrás: DERTAT 2017

Tegyük fel, hogy van egy $32 \times 32 \times 3$ -as képünk, és egy $5 \times 5 \times 3$ -as kernelt használunk, azaz a konvolúciós szűrő mélysége megegyezik a kép mélységével. A szűrő egy adott helyen lefedi a bemenet egy kis részét, itt végrehajtja a fent leírt konvolúciós műveletet. Az egyetlen különbség az, hogy ezúttal a mátrixszorzás összegét 3D-ben végzi, és nem 2D-ben, de az eredmény továbbra is műveletenként egy-egy skalár. A bemeneten a szűrő áthelyezésével (a fenti módon) minden helyen megtörténik a konvolúció, amely eredményét a jellemzőtérkép összesíti. Ez a jellemzőtérkép $32 \times 32 \times 1$ méretű, a 8. ábra jobb oldalán piros szeletként látható. Ha 10 különböző szűrőt használnak, akkor 10 db $32 \times 32 \times 1$ méretű tereptérképet kapnánk, és ezeket a mélységi dimenzió mentén egymásra rakva megkapnánk a konvolúciós réteg végső kimenetét: egy $32 \times 32 \times 10$ méretű 3D mátrixot, amely a 8. ábra jobb oldalán nagy kék dobozként látható. A tereptérkép magassága és szélessége változatlan, azaz továbbra is 32, ami a kitöltésnek köszönhető. A 9. ábrán az látható, hogyan készül két jellemzőtérkép a mélységdimenzióban eltolva egymástól. Az egyes szűrők konvolúciós műveleteit egymástól függetlenül hajtják végre, és az eredményül kapott jellemzőtérképek diszjunktak, vagyis nincs közös részük.²¹

²⁰ DERTAT 2017.

²¹ DERTAT 2017.



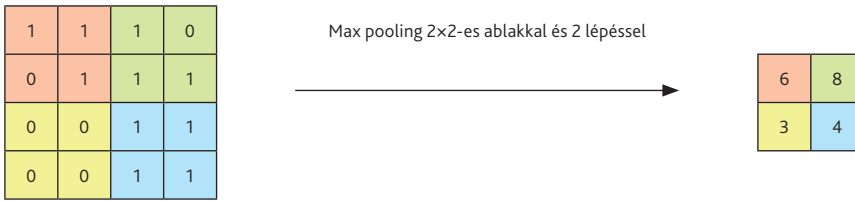
9. ábra: 3D konvolúció mélységi eltolással

Forrás: DERTAT 2017

A konvolúció után általában pooling (összehúzás) művelet történik a magasság és a szélesség csökkentése érdekében. Ez lehetővé teszi a paraméterek számának csökkentését, ami egyrészt lerövidíti a tanulási folyamat idejét, másrészt pedig a túltanulás kockázatát csökkenti. Az egyesített rétegek külön-külön leképezik az egyes tereptárgyak jellemtérképét, csökkentve a magasságot és a szélességet, a mélységen viszont nem változtatnak. A leggyakrabban használt összehúzó eljárás a max pooling, amely azt jelenti, hogy a pooling ablakban található maximális értéket veszi fel az adott terület értékének. A konvolúciós művelettel ellentétben a poolingnek nincsenek paraméterei. Egy ablakot csúsztat a bemenete fölé, és egyszerűen felveszi az ablakban található értékek közül a maximális értéket. A konvolúcióhoz hasonlóan meg kell határozni az ablak méretét és lépésszámát. Példaként egy 2×2 -es ablak és 2-es lépésszám²² összevonás eredménye látható a 10. ábrán. Minden szín más ablakot jelöl. Mivel mind az ablak mérete, mind a lépésszám 2, az ablakok nem fedik egymást. Ennek a folyamatnak a célja, hogy csökkenjen a jellemtérkép szélessége és magassága. Összehasonlítva a jellemtérkép méreteit az összevonás előtt és után azt kapjuk, hogy ha a gyújtóréteg bemenetének mérete például $32 \times 32 \times 10$ volt, akkor a pooling paraméterek használatával az eredmény egy $16 \times 16 \times 10$ -es jellemzőtérkép lesz. A térkép magassága és szélessége is a felére csökken, de a mélység nem változik, mert a pooling egymástól függetlenül működik a bemenet minden egyes mélységi szeletén. A bemeneti kép 2D koordinátái (súlyok) száma negyedére csökkent. Figyelembevéve, hogy a konvolúciós hálók általában több millió súllyal dolgoznak, nagyon fontos az adattömeg csökkentése. A CNN-architektúrákban a pooling rendszerint 2×2 ablakkal és 2 lépéssel, míg a konvolúció 3×3 -as ablakkal, 1 lépéssel történik.²³

²² Az ablak kettő egységet mozog oldalra. Ezt az értéket konvolúció során érdemes 1-nek hagyni, pooling során pedig többnek is lehet, amennyiben megegyezik az ablak méretével, nem lesz átfedés az ablakok között.

²³ DERTAT 2017; BROWNLIE 2020; *Max Pooling* [é. n.].



10. ábra: Max pooling

Forrás: DERTAT 2017 alapján a szerző szerkesztése

A teljes felismerési folyamat nagyrészt ezekből az alapfolyamatokból áll, kiegészülve még olyan tevékenységekkel, amelyekről terjedelemi megfontolás miatt a publikációban ezúttal nem esik szó, de lényegében ezeknek az értékeknek az összehasonlításán alapszik a képi felismerés elve. Tehát a mintahalmaz ilyen módon létrejövő értékei kerülnek összehasonlításra a bemeneti kép értékével, ami alapján a mesterséges intelligencia meghatározza, hogy a kép melyik csoportba tartozik.

Szoftveres háttér

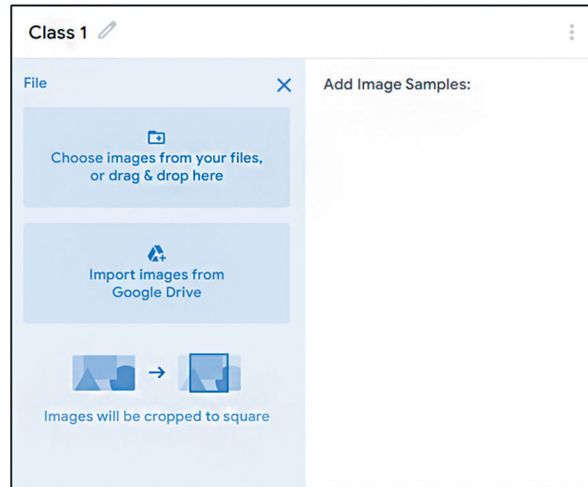
A kutatás kezdetén fontos volt egy olyan szoftver keresése, amely megfelelő hatásfokkal és pontossággal dolgozik, mégis kevés programozási ismeretre van szükség használatához. Az MI Koalíció *Bevezetés a Mesterséges Intelligencia világába* című kurzusát hallgatva ismertem meg a „Teachable Machine” alkalmazást, amelyet a kutatás során is használtam.

A Teachable Machine egy webalapú eszköz, a Google fejlesztése, amely gyors és egyszerű használatot biztosít, így mindenki számára elérhetővé teszi a gépi tanulási modellek létrehozását akár kép, zene vagy testhelyzetek felismerésére van szükség. A webes alkalmazás első verzióját 2017-ben ismerhették meg a felhasználók. Azóta számos fejlesztés és javítás történt nemcsak a grafikus kezelőfelületen, hanem a neurális hálókészítés beállításainak lehetőségeiben, valamint a hálóképzés sebességében és pontosságában is. Segítségével képfelismerő algoritmus készíthető a készülék kamerája vagy a meglévő fényképek használatával. Képes hangok és dallamok felismerésére is, mikrofon vagy hangfájlok alkalmazásával, továbbá képessé tehető az emberi mozdulatok és testtartások felismerésére valós időben webkamera segítségével.²⁴

A neurális háló képzése három egyszerű lépésben történik, amelyek a következők: adatgyűjtés és osztályozás, modellképzés és az elkészült modell exportálása, felhasználása. Adatgyűjtés során egy megfelelő mennyiségű és minőségű adattal feltöltött halmazt kell létrehozni (ezek a kívánt tevékenység alapján állhatnak kép, hang vagy videófájlokból). A feltöltött elemeket csoportosítani szükséges, ami a példák osztályokba vagy kategóriákba rendezését jelenti, ezeket kell majd a neurális hálónak megtanulnia. Az adatbázis feltöltése történhet

²⁴ Teachable Machine [é. n.].

a webkamerával valós időben készített képekből, a Google Drive-ról,²⁵ illetve adattároló eszközökről png-, jpeg- vagy bmp-kiterjesztéssel (11. ábra). A képeket a program automatikusan négyzet alakúra vágja ki. Kétféle feltöltési lehetőség közül lehet választani, 240 × 240 pixel méretű színes képek vagy 96 × 96 pixel méretű fekete-fehér képek. Természetesen a jobb képminőség és színes adathalmaz jobb felismerhetőséget is eredményez, így ajánlott ezzel a módszerrel használni az alkalmazást.²⁶



11. ábra: Adatok osztályokba rendezése

Forrás: Teachable Machine [é. n.]

Modellképzés során (12. ábra) a tanítás gombra kattintva, megkezdődik a tanulási folyamat, amelyhez a rendszer nem a saját számítógép erőforrásait használja fel, hanem a Google szervereit, így minimalizálva a felhasználó hardverigényét és maximalizálva a feladat elvégzésének sebességét. A tanítás során két változó értékét lehet állítani: az epoch²⁷ és batch size²⁸ változókat. A rövid időn belül elkészülő modell azonnal tesztelhetővé válik, így hamar megállapítható, hogy a modell képes-e megfelelően besorolni az új tesztpéldákat. A pontosság vizsgálatához próbafájlokat lehet készíteni a webkamera segítségével, vagy azok feltölthetők adattárolóról is. Az alkalmazás a tesztfájltra vetítve meghatározza, hogy az egyes csoportok, osztályokkal milyen százalékos arányban egyezik meg a tartalom. A modell exportálása,

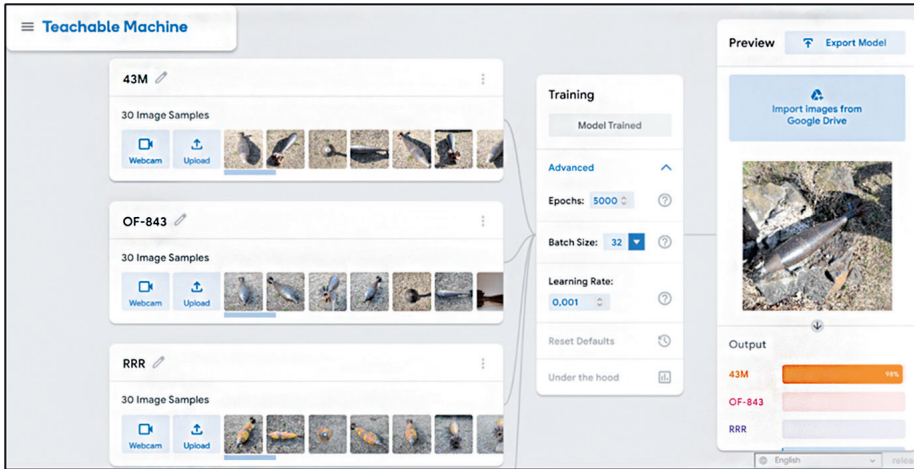
²⁵ A Google Drive egy fájlok tárolását, szinkronizálását és szerkesztését lehetővé tevő szolgáltatás, amelyhez minden Google-fiókkal rendelkező felhasználó számára 15 GB felhőalapú tárhelyet biztosít a cég.

²⁶ Teachable Machine [é. n.].

²⁷ Egy epoch a mintahalmaz egyszeri végigfuttatása a neurális hálón. Ha például ez az érték 50, akkor 50 esetben fut végig a minta feldolgozása és a súlyozás. A kis epochszám alultanított, a nagy epochszám túltanított neurális hálót eredményez. De alapvetés, hogy minél nagyobb az epochszám, várhatóan annál jobb modellt kapunk.

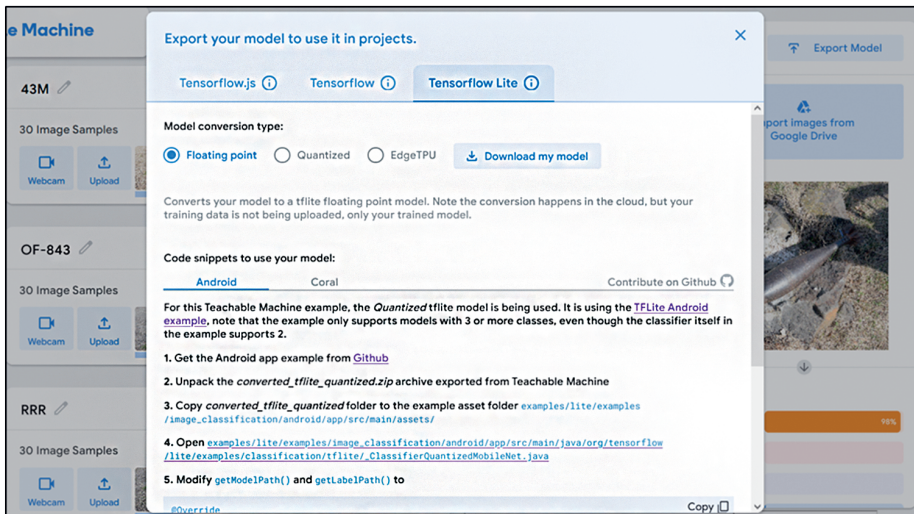
²⁸ A batch size lényege, hogy egy tanulási ciklusban meghatározott számú képet tanítunk be a neurális hálóba. Ha a tanulóhalmaz 80 képet tartalmaz és a batch size 16, akkor $80 \div 16 = 5$ batch-be lesz szétosztva a 80 kép. Ha mind az 5 batch átment a tanulás folyamatán, akkor kész egy epoch. Ha az 5 batch kétszer is átment a tanulási folyamaton, akkor kész kettő epochs és így tovább.

felhasználása során az elkészült neurális háló különböző formátumokban (Tensorflow.js, Tensorflow [Keras] és Tensorflow Lite) kimenthető az alkalmazásból (13. ábra), hogy azt a különböző projektekben lehessen alkalmazni. Egy ilyen plusz felhasználási lehetőséget biztosít a Google is, így az Android operációs rendszerekkel rendelkező telefonokra alkalmazást lehet programozni a kapott mesterséges intelligencia használatára.²⁹



12. ábra: Modellképzés

Forrás: Teachable Machine [é. n.]



13. ábra: Modell exportálása és letöltése

Forrás: Teachable Machine [é. n.]

²⁹ Teachable Machine [é. n.].

A program megfelelő működéséhez és használatához szükség van a már sokszor említett nagyméretű képi adatbázisra, amelynek kialakításához a Tűzserész Ezred laktanyájában, a kiképző kabinetben készítettünk fényképeket. Az általam használt adatbázisról a cikksorozat következő részében esik szó.

Összegzés

A cikkben bemutattam azokat a matematikai és informatikai megoldásokat, amelyek segítségével a képelemző mesterséges intelligencia működik. Ezek a folyamatok biztosítanak lehetőséget, hogy a program adott képet a korábban definiált csoportok valamelyikéhez sorolja. A kutatás során ehhez a feladathoz a Teachable Machine webalapú eszközt használtam, amely megfelelő határfokkal készített a kívánalmaknak megfelelő neurális hálókat. Az elkészült neurális hálók exportálhatók a programból, megkönnyítve ezzel a további fejlesztés és például egy telefonos applikáció létrehozásának lehetőségét.

Felhasznált irodalom

- Analog Image Processing vs. Digital Image Processing* [é. n.]. Online: www.javatpoint.com/analog-image-processing-vs-digital-image-processing
- BROWNLEE, Jason (2020): *How Do Convolutional Layers Work in Deep Learning Neural Networks?* Online: <https://machinelearningmastery.com/convolutional-layers-for-deep-learning-neural-networks/>
- DEKAT, Arden (2017): *Applied Deep Learning–Part 4: Convolutional Neural Networks*. Online: <https://towardsdatascience.com/applied-deep-learning-part-4-convolutional-neural-networks-584bc134c1e2>
- EMBER István (2020a): A lőszermentesítés szerepe az építőiparban. *Építőanyag*, 72(2), 59–63. Online: <https://doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2020.9>
- EMBER István (2020b): The Role and the Risks of Explosive Ordnance Decontamination in Hungary. *Science & Military (Veda a Vojenstvo)*, 16(1), 32–42. Online: <https://doi.org/10.52651/sam.a.2021.1.32-42>
- Image Processing Definition, Examples and Application* [é. n.]. Online: www.zr-tech.co.uk/Image-Processing/
- KORSTANJE, Joos (2020): *What is the Difference Between Object Detection and Image Segmentation?* Online: <https://towardsdatascience.com/what-is-the-difference-between-object-detection-and-image-segmentation-ee746a935cc1>
- KOVÁCS Zoltán (2012): Az improvizált robbanóeszközök főbb típusai. *Műszaki Katonai Közlöny*, 22(2), 37–52. Online: https://mkk.uni-nke.hu/document/mkk-uni-nke-hu/2012_2_03%20IED-k%20f%C5%91bb%20t%C3%ADpusai%20-%20Kov%C3%A1cs%20Z.pdf
- Max Pooling* [é. n.]. Online: <https://paperswithcode.com/method/max-pooling>
- NÉMETH András – VIRÁGH Krisztián (2022): Mesterséges intelligencia és haderő – Polgári alkalmazási lehetőségek V. rész. *Haditechnika*, 56(5), 2–7. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.56.5.01>
- NÉMETH András – VIRÁGH Krisztián (2023): Mesterséges intelligencia és haderő – Katonai alkalmazási lehetőségek VII. rész. *Haditechnika*, 57(1), 2–6. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.1.01>
- Objektum felismerő (képfelismerő) AI megoldásunk* (2019). Online: www.regens.com/hu/-/objektum-felismeres-kepfelismeres-mesterseges-intelligenciaval-bemutato-video
- SHARMA, Pulkit (2019): *Image Classification vs. Object Detection vs. Image Segmentation*. Online: <https://medium.com/analytics-vidhya/image-classification-vs-object-detection-vs-image-segmentation-f36db85fe81>

Teachable Machine [é. n.]. Online: <https://teachablemachine.withgoogle.com/>

TOMOLYA János – PADÁNYI József (2012): A terrorizmus jelentette kihívások. *Hadtudomány*, 22(3–4), 34–67. Online: www.mhtt.eu/hadtudomany/2012/3_4/HT_2012_3-4_Tomolya_Padanyi.pdf

TÓTH László (2019): *Mesterséges neuronhálók és alkalmazásai*. Online: www.inf.u-szeged.hu/~toth/ann/Neuronhalok-egyben.pdf

What Is Deep Learning? 3 Things You Need to Know [é. n.]. Online: www.mathworks.com/discovery/deep-learning.html

Sibalin Iván,¹  Kátai-Urbán Lajos,²  Cimer Zsolt³ 

A geomérnökség lehetséges energiaipari-biztonsági vonatkozásai a környezeti fenntarthatóság keretrendszerében

Potential Energy Industrial Safety Aspects of Geoengineering in the Framework of Environmental Sustainability

A geomérnökségnek az éghajlatváltozás kezelése és a környezeti fenntarthatóság érdekében történő alkalmazhatósága már évek óta vizsgálatok tárgyát képezi. E technológiák kapcsán felmerült bizonytalanságok azonban még korántsem teszik lehetővé azok széles körű használatát. Erre már számos olyan tudományos és szakmai közlemény is rámutatott, amelyek a geomérnökség környezeti, meteorológiai következményeit elemzik. Tekintettel az energiaágazatnak és az iparbiztonságnak a környezeti fenntarthatóságban betöltött alapvető szerepére, indokolt megvizsgálni a geomérnökségnek az energiaágazat, illetőleg az energetikai rendszerek működésére és biztonságára gyakorolt lehetséges hatásait is.

Kulcsszavak: geomérnökség, energiaipari biztonság, környezeti fenntarthatóság

The applicability of geoengineering for climate change management and environmental sustainability has been the subject of investigations for years. However, the uncertainties which have arisen in connection with these technologies do not yet allow their widespread use. This has already been pointed out by numerous scientific and professional publications that analyse the environmental and meteorological consequences of geoengineering. Given the fundamental role of the energy sector and industrial safety in the environmental sustainability, it is reasonable to examine the possible effects of geoengineering on the operation and safety of the energy sector and energy systems.

¹ Jogász, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola, e-mail: sibalin.ivan@uni-nke.hu

² Tanszékvezető, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katasztrófavédelmi Intézet Iparbiztonsági Tanszék, e-mail: katai.lajos@uni-nke.hu

³ Dékánhelyettes, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Víz tudományi Kar, e-mail: cimer.zsolt@uni-nke.hu

Keywords: *geoengineering, energy industry safety, environmental sustainability*

Bevezetés

A geomérnökség a klimatikus problémák kezelésének jelenleg még talán legvitatottabb mesterséges módszere, ugyanis e technológiák hosszabb távú hatásai többnyire még nem tisztázottak. Noha nem kizárt, hogy a geomérnökség kiterjedt alkalmazásával jelentős eredményeket lehet elérni az éghajlatváltozás kezelésében és a környezeti fenntarthatóság folyamatában, egyes vélemények szerint bizonyos geomérnökségi megoldások olyan nem kívánt mellék- vagy kontraproduktív hatásokat generálhatnak, amelyek csak felerősítenék a meglévő környezeti problémákat. Kétségtelen, hogy egy ilyen forгатókönyv – a hatások súlyosságától függően – akár beláthatatlan következményekkel is járhatna bolygónkra, és így a földi élet lényegében valamennyi szegmensére nézve. Mégis, a globális jelentőségű és egyben bizonytalan kimenetelű technológiák alkalmazhatóságát – a minél pontosabb és átfogóbb hatásvizsgálat érdekében – indokolt szakterület- és ágazatspecifikus szempontból is elemezni.

Az alábbi közlemény a geomérnökségnek az energiaágazat biztonságos működésére gyakorolt – aktuális ismereteink szerinti – lehetséges hatásait igyekszik bemutatni, elsősorban az iparbiztonság perspektívájából. A geomérnökség energiaipari-biztonsági szempontú elemzése három okból javasolt. Egyrészt az energiaágazat balesetei és üzemzavarai együttesen jelentős környezetszennyező hatásúak, amelyek akadályozzák a környezeti fenntarthatóság folyamatát, azaz éppen azt gátolják, amihez a sikeres geomérnökség hozzá kíván járulni. Másrészt az energetikai rendszerek üzembiztos működését jelentős mértékben veszélyeztethetik a szélsőséges környezeti körülmények, amelyeket az esetlegesen sikertelen geomérnökség mellék- vagy kontraproduktív hatásai felerősíthetnek. Ehhez kapcsolódóan kiemelendő, hogy az energiaellátás hosszabb-rövidebb ideig tartó kiesése gyakorlatilag valamennyi más ágazat működésére is hatással van, ami jól mutatja az energiaágazat érzékenységét és fokozott védelmének szükségességét. Harmadrészt pedig, mivel mind a geomérnökség, mind az energiaipari-biztonság közvetlenül vagy közvetve, egyebek mellett a környezeti fenntarthatóság megvalósítását is szolgálja, ezért célszerű megvizsgálni e két terület kapcsolódási pontjait.

Geomérnökség és környezeti fenntarthatóság

Az éghajlatváltozás mérséklésének mesterséges eszközei

Korunk globális éghajlatváltozási tendenciái és azokból fakadó környezeti problémái kezelésének, mérséklésének szükségessége már lényegében nemzetközi szintű közvélekedéssé vált. A megvalósítás módszereiben, eszközeiben azonban koránt sincs teljes konszenzus sem a tudományos diskurzusban, sem pedig a politika színterén. Ilyen – meglehetősen nagyfokú – bizonytalanság jellemzi a geomérnökség alkalmazhatóságának kérdését is, amely a Föld „[...] energiaegyenlegébe való direkt beavatkozásra irányuló megoldások összefoglaló neve”.

A geomérnökségnek két típusa azonosítható, amelyek az elnyelt és a kibocsátott energiamennyiség befolyásolásában betöltött szerepük mentén határolhatók el egymástól. Ennek kapcsán mindenekelőtt bolygónk energiaegyenlegét alakító tényezőkről célszerű rövid említést tenni. Eszerint a globális átlaghőmérsékletet alapvetően meghatározza a Napból érkező energia mennyisége. A Föld felszíne azonban e sugárzás nagyjából 70%-át elnyeli, aminek következtében felmelegszik, és hőmérsékletének megfelelő mennyiségű hosszúhullámú sugárzást bocsát a légkörbe, illetve az űrbe.

A hőmérséklet emelkedése vagy csökkenése, az elnyelt és az űrbe kibocsátott energia egyenlegének függvénye. Napjainkban Földünk átlagos hőmérséklete azért emelkedik, mert az üvegházhatású gázok – különösen a szén-dioxid – növekvő légköri koncentrációja korlátozza a hosszúhullámú sugárzás kibocsátását. A geomérnökség egyik típusa a szén-dioxid-kivonás (Carbon Dioxide Removal, CDR), ekként éppen a kimenő energia növelését szolgálja. Másik típusa pedig a napsugárzás-menedzsment (Solar Radiation Management, SRM), amely a beérkező energia csökkentésével kívánja mérsékelni a hőmérsékletet.⁴ Megjegyzendő, hogy egyes vélemények szerint tágabb értelemben a természetes környezet antropocentrikus megváltoztatására irányuló valamennyi eljárás és beavatkozás klíma- és geomérnökségként értékelhető, még abban az esetben is, ha azok nem tervezetten valósulnak meg, illetve mentek végbe a történelem folyamán. Ilyen például a bányászati és mezőgazdasági aktivitás vagy az erdőirtás. Ez utóbbi ellenkezője, azaz a természetes szén-dioxid-elnyelők telepítése szintúgy tekinthető a klíma- és geomérnökség részének,⁵ azonban jelen közlemény kizárólag a CDR és az SRM vizsgálatára terjed ki.

A CDR-technológiának több altípusa azonosítható. Ezek közé tartozik a szén-dioxid leválasztását és föld alatti tárolását célzó Carbon Capture and Storage (CCS), valamint a biomassza elégetésekor keletkezett szén-dioxid begyűjtését és szintén földfelszín alatti tárolását biztosító Bio Energy with Carbon Capture and Storage (BECCS) műszaki megoldás. Ugyancsak kiemelendő a levegőből történő közvetlen szén-dioxid-leválasztást, majd -tárolást lehetővé tevő Direct Air Capture and Carbon Storage (DACCS), illetve a szén-dioxid-leválasztás hasznosítás Carbon Capture and Utilization (CCU) technológiája.⁶ A CDR-t már egyre több helyen alkalmazták világszerte; 2021-ben Izlandon,⁷ 2022-ben pedig az Egyesült Királyságban⁸ is üzembe helyeztek már ilyen létesítményt.

A CDR-nél talán még tágabb kört ölelnek fel az SRM-technológiák, amelyek közül több még csak ötlet szintjén létezik. SRM-nek minősül például a kozmikus árnyékolók alkalmazásának lehetősége, valamint a bolygó fényvisszaverési mértékének (albedójának) megváltoztatása. Ez utóbbit többek között aeroszolok magaslégkörbe juttatásával, felhők „kifehérítésével”, mesterséges felületek világosra festésével vagy az óceán felszínének felhabosításával lehetne megvalósítani.⁹ Kifejezetten a csapadékeloszlás megváltoztatására, aszálykárok kiküszöbölésére

⁴ PIECZKA 2021.

⁵ TOLDI 2021.

⁶ SCHAFFHAUSER 2021.

⁷ RICHTER 2021.

⁸ PALEJA 2022.

⁹ PIECZKA 2021.

szolgál a – Távol-Keleten már ipari léptékben alkalmazott – „felhőmagvasítás”, amely során ezüst-jodid, folyékony nitrogén vagy fagyasztott szén-dioxid légkörbe juttatásával tartós esőzést lehet kiváltani.¹⁰

A geomérnökség környezeti fenntarthatósági szempontú értékelése

A fentiekből is egyértelműen következik, hogy a geomérnökség – a klimatikus problémák kezelésével – lényegében a fenntartható fejlődést kívánja szolgálni. Ennek részét képezi a környezeti fenntarthatóság, amely a környezet eltartó- és tűrőképességének meghaladása nélküli fejlődést jelenti.¹¹ Ez voltaképpen nem más, mint egy globális stratégiai jövőkép, amelynek eléréséhez konkrét stratégiai célok meghatározására és végrehajtására van szükség. Amint azt a Nemzeti Fenntartható Fejlődési Keretstratégia kimondja, „[...] a fenntartható fejlődéssel kapcsolatban leginkább az annak megvalósításához hozzájáruló technológiákat szokás kiemelni (megújuló energiaforrások, újrahasznosítás stb.), a fenntartható társadalom kialakulása mégis ennél szélesebb körű, elsősorban kulturális probléma”.¹² Következtetesképp a fenntartható fejlődés – és ekként a környezeti fenntarthatóság – két alapvető komponense a technológia és a kultúra.¹³ Ezt tovább gondolva konstatalható, hogy egy újszerű találmány az esetben tekinthető fenntarthatónak, ha az technológiai (értsd: reál- és természettudományi) és kulturális (értsd: társadalomtudományi) szempontból is hozzájárul a fenntartható fejlődés folyamatához, de legalábbis bizonyosan nem hátráltatja azt.

A technológiai hozzájárulás pillérét vizsgálva megállapítható, hogy a geomérnökség alkalmazhatósága kapcsán jelenleg még komoly környezeti, meteorológiai és műszaki aggályok merülnek fel. E technológiák ugyanis valójában csupán tüneti kezelésnek minősülnek, nem pedig az eredendő probléma megoldását célozzák. A visszacsatolásokra gyakorolt hatások, valamint a lezajló folyamatok fizikai háttere még nem teljesen ismert. Így egyelőre nem kizárt, hogy egyes geomérnöki megoldások hosszabb távon nem kívánt mellék- vagy kontraproduktív hatásokat is generálhatnak. Ezek között említhető a csapadék- és az ózonkoncentráció-változás, a biodiverzitás-csökkenés vagy – az SRM-technológia alkalmazásának valamilyen okból történő megszüntetését követő – még gyorsabb felmelegedés kockázata.¹⁴

A kulturális hozzájárulás szempontjából szintúgy felmerülnek megoldásra váró kérdések a geomérnökség kapcsán. Globális vagy több országra kiterjedő hatásokkal járó geomérnökségi beavatkozások esetén elengedhetetlen a nemzetközi konszenzus megléte, aminek elérése jelentős akadályokba ütközhet a nemzetközi szintű döntéshozatal során. Ebből következően – amint arra az Európai Bizottság Közös Kutatóközpontja (JRC) 2022-es jelentésében rámutatott – a geomérnöki tervezés irányítása többdimenziós megközelítést és egy új jogi szabályo-

¹⁰ TOLDI 2021.

¹¹ GYULAI 2013: 801.

¹² 18/2013. (III. 28.) OGY HAT (melléklet).

¹³ SIBALIN 2022: 58.

¹⁴ PIECZKA 2021.

zási mechanizmusra irányuló javaslatot igényel.¹⁵ Ezen túlmenően a geomérnökség általános környezet- és biztonság tudatossági aggályokat is felvet. Az elővigyázatosság elvét alapul véve,

„[...] ha kétely merül fel egy termék esetlegesen káros hatásával kapcsolatban, és ha – objektív tudományos értékelést követően – továbbra is fennáll a bizonytalanság, utasítást lehet adni a termék forgalmazásának leállítására vagy a piacról való kivonására. Az ilyen intézkedéseknek megkülönböztetéstől mentesnek és arányosnak kell lenniük és felülvizsgálat tárgyát kell képezniük, amint rendelkezésre áll több tudományos információ.”¹⁶

Látható az is, hogy az elővigyázatosság elve nem kizárólag a környezeti és egészségügyi szempontokra van tekintettel, hanem a lehetséges káros hatások szélesebb körére, azaz a másodlagos negatív hatásokkal szemben is igyekszik védelmet nyújtani. A geomérnökség esetében ez alatt az esetleges kontraproduktív hatások olyan járulékos társadalmi következményei értendők, mint például a még gyorsabb felmelegedésre visszavezethető fokozottabb klímamigráció vagy éhínség. És természetesen nem hagyhatók figyelmen kívül a költségesnek mondható geomérnökségi projektek gazdasági-finanszírozási kérdései sem.

1. táblázat: A geomérnökség néhány lehetséges fenntarthatósági kockázata

Technológiai hozzájárulás pillére	Kulturális hozzájárulás pillére
még gyorsabb felmelegedés	nemzetközi viták, jogi dilemmák
csapadék- és ózonkoncentráció-változás	környezet- és biztonság tudatossági kérdések
biodiverzitás csökkenése	sikertelenség társadalmi következményei
egyéb mellék- és kontraproduktív hatások	gazdasági-finanszírozási kérdések

Forrás: Sibalin Iván szerkesztése

Energiaipari-biztonsági vonatkozású fenntarthatósági kockázatok értékelése

Fenntarthatóság: közös cél eltérő módszerekkel

Számtalan elemzés és tudományos munka foglalkozott már az energiaágazatnak a természeti környezetre, illetve tágabban a fenntartható fejlődésre gyakorolt hatásával. Nem véletlen, hiszen a természeti erőforrások kiaknázása, a környezetszennyezés, az üvegházhatású gázok kibocsátása, valamint a légszennyezés jelentős részben az emberiség egyre növekvő energia-termelésére, illetve -fogyasztására vezethető vissza.

A legtöbb ilyen munka azonban az energetikai rendszerek normálüzemi működésekor a külvilágba távozó károsanyag-kibocsátások visszaszorításának szükségességére, illetve e probléma valamilyen módon megvalósítható kiküszöbölésének lehetőségeire hívja fel

¹⁵ SACCO et al. 2022: 24.

¹⁶ OHLIGER 2017: 2.

a figyelmet. Az energetikai rendszerek veszélyhelyzeti működése során azonban szintén jelentős mennyiségű szennyező anyag távozik a környezetbe. Ennek ténye pedig nemcsak az energiaágazat, hanem az iparbiztonsági szakterület kiemelt érintettségét is alátámasztja a környezeti fenntarthatóságban.¹⁷ Következésképpen az energetikai rendszerek és rendszerelemek üzembiztos működését szolgáló energiaipari-biztonság minél szélesebb körű érvényre juttatása a környezeti fenntarthatóság alapvető feltétele.

Tekintettel arra, hogy mind az energiaipari-biztonság, mind pedig – a Föld energia-mérlegének kiegyensúlyozására irányuló¹⁸ – geomérnökség a környezeti fenntarthatóság elérését és ezzel párhuzamosan, illetve ennek részeként a biztonságosabb, kiszámíthatóbb és egészségesebb földi élet megvalósítását is célozza, indokolt megvizsgálni a geomérnökség hatásainak – a technológiával kapcsolatban egyelőre még csak korlátozottan rendelkezésre álló ismeretek fényében – néhány lehetséges, energiaipari-biztonsági vonatkozását is. A sikeres – azaz a mellékhatásoktól és kontraproduktív hatásoktól mentes – geomérnökség nyilvánvalóan pozitívan befolyásolná az energiaipari-biztonságot. Ellenkező esetben azonban jelentős, az eddig tapasztaltaknál súlyosabb iparbiztonsági, műszaki biztonsági és ellátásbiztonsági kockázatok merülhetnek fel az energiaágazatban globális szinten.



1. ábra: A geomérnökség és az energiaipari-biztonság a környezeti fenntarthatóság szolgálatában

Forrás: Sibalin Iván szerkesztése

Az SRM néhány lehetséges energiaipari-biztonsági következménye

Az éghajlatváltozásra visszavezethető, országunkat is évről évre veszélyeztető legjellemzőbb környezeti problémák között említhetők a hóhullámok, az erdő- és vegetációtüzek, a villám-árvizek, a szélviharok, valamint a gyengülő átlagos szélesebesség. Ezek mindegyike komoly energiaipari-biztonsági kockázattal jár, mivel az épített infrastruktúrákban, így az energiaágazatban is súlyos ipari baleseteket, üzembiztos zavarokat, műszaki biztonsági és ellátásbiztonsági gondokat idézhetnek elő.¹⁹ Az állítás az alábbi példakkal megfelelően illusztrálható:

¹⁷ SIBALIN 2022: 6.

¹⁸ PIECZKA 2021.

¹⁹ SIBALIN 2022: 103–115.

- A hőhullámok egyes rendszerelemek – köztük a kapcsolóállomások elektronikus irányítástechnikai berendezéseinek, a kábelvezetékeknek, a talajban rögzített tartóoszlopoknak²⁰ – stabilitását, épségét veszélyeztetik. A forráságban az energiaellátó hálózat is túlmelegedhet. A végső hőnyelőként funkcionáló természetes vizek alacsonyabb vízállása és hőmérséklet-növekedése hatásfokcsökkenést eredményezhet a hőerőművek és vízerőművek esetében.²¹ A hőség miatt a gázturbinás erőművek teljesítőképessége romolhat,²² a magas hőmérséklet pedig a túlhevült napelempanelak teljesítőképesség-csökkenését is előidézheti. Az alacsonyabbá váló légmozgás következtében a szél-erőművek energiatermelése is mérséklődik.²³ Végül egy elhúzódó aszályos periódus az energiaültetvényeket teheti tönkre.²⁴
- Az erdő- és vegetációtüzek – a közelükben lévő ipari létesítményekre áttérjedve – súlyos balesetek forrásai lehetnek. A közelmúltban több olyan esemény is történt, amely során erdőtüzek erőművek épségét veszélyeztették. 2020 tavaszán például a csernobili szarkofágtól nem messze elterülő erdőség gyulladt ki,²⁵ 2021 nyarán pedig az Égei- és Földközi-tenger partjain pusztító erdőtüzek kerültek egy törökországi széntüzelésű hőerőmű közelébe.²⁶ A megújulóenergia-termelés vonatkozásában elsősorban ellátásbiztonsági példák hozhatók fel. 2020 őszén a kaliforniai erdőtüzek füstje olyannyira lecsökkentette a napelempanelakat érő napsugárzást, hogy a napenergia-termelés is jelentősen visszaesett az államban.²⁷ Az erdők²⁸ és energiaültetvények égése következtében a rendelkezésre álló biomassa is számottevő mértékben kárba veszhet.²⁹
- Korunk egyik legjellemzőbb hidrológiai eredetű kockázatának számítanak a villámárvizek, amelyek alatt a váratlan gyorsasággal lezúduló, 30 mm/nap intenzitást meghaladó csapadékesemények értendők.³⁰ Ilyen események során a víz nyomása és sodrása, valamint a korrózió károsíthatja az infrastruktúra-elemeket és -hálózatokat. A sár-lavinák, a földcsuszamlások, a talajfolyások és -beomlások akár veszélyes anyagokkal kapcsolatos balesetek forrásai is lehetnek.³¹ A viharokkal gyakran együttjáró villámcsapások jellemzően a szigetetlen szabadvezetékekre, ritkábban a tartóoszlopokra,³² a fotovoltaiikus panelekre³³ és a szél-erőművekre jelentenek veszélyt, azonban volt már példa villámcsapás okozta szénhidrogénipari tartálytüzekre és tartályrobbanásokra is.³⁴

²⁰ FICÉP Kft. 2019: 37.

²¹ Aszódi 2018.

²² ITM et al. 2020: 31.

²³ Aszódi 2018.

²⁴ BALLA et al. 2014: 122.

²⁵ OAH 2020.

²⁶ Euronews–AP 2021.

²⁷ MNNSZ 2020.

²⁸ ITM 2020: 45.

²⁹ SIBALIN 2022: 108.

³⁰ 23/2018. (X. 31.) OGY hat. (melléklet) 2018: 174.

³¹ ÉRCES–VASS–AMBRUSZ 2023.

³² FICÉP Kft. 2019: 37.

³³ *Féltsük az időjárástól a napelempanelt?* [é. n.].

³⁴ TÓTH–KECSKEMÉTHY–ENDRŐDI 2021.

- Miközben az átlagos szélsébség bolygónkon mérséklődést mutat, a szélsőséges szeles események valószínűsége növekszik.³⁵ Mindkét környezeti jelenség kapcsán azonosíthatók energiaipari-biztonsági kockázatok. Míg a gyenge szélsébség többnyire az ipari balesetek következtében a környezetbe kerülő légszennyező anyagok felhalmozódása miatt nehezíti meg a balesetet megelőző állapot helyreállítását,³⁶ addig a szélviharok az egyes rendszeres elemeket – köztük az áramátalakító berendezéseket, a légvezetéseket,³⁷ a telekommunikációs antennákat, kéményeket,³⁸ a nem megfelelően rögzített napelem-rendszereket,³⁹ a tartóoszlopok szerkezetét⁴⁰ – közvetlenül rongálhatják. Az ipari balesetek emellett súlyos környezeti károkat is okozhatnak,⁴¹ amelyek esetlegesen katasztrofális hatásai miatt jelentős mértékben terhelik a környezeti elemeket.⁴²

Az éghajlatváltozást és ezáltal korunk környezeti problémáit is sikeresen kezelő SRM-megoldásokkal a fent ismertetett energiaipari-biztonsági kockázatok is jelentősen mérséklődhetnek. Nem zárható ki azonban, hogy az SRM – a technológiai hozzájárulás pillére kapcsán említett, valamint egyéb – egyelőre teljeskörűen még nem ismert mellék- vagy kontraproduktív hatásai az energiaágazat biztonságát is veszélyeztető környezeti problémák súlyosságát tovább fokozhatják. Az energiaellátás akadályozottsága, sérülése pedig gyakorlatilag a létfontosságú rendszerek és létesítmények azonosításáról, kijelöléséről és védelméről szóló 2012. évi CLXVI. törvény (Lrtv.) 1. mellékletében felsorolt valamennyi ágazat funkcionálását korlátozhatja, amivel akár olyan alapvető létfeltételek biztosítása is hosszabb-rövidebb időre ellehetetlenülhet, mint például az ivóvízellátás.⁴³

A CDR néhány lehetséges energiaipari-biztonsági következménye

A szén-dioxid-elnyelő technológiák kézenfekvő dekarbonizációs megoldásként szolgálhatnak, ami a veszélyhelyzeti működés következtében a környezetbe áramló szén-dioxid kapcsán is relevanciával bír. A CDR kezdetlegessége okán azonban számos biztonsági kockázatot hordoz magában. A legáltalánosabbak között említhetők a szén-dioxid tárolásával kapcsolatos problémák.

³⁵ PÉLINÉ NÉMETH 2021.

³⁶ SIBALIN 2022: 115.

³⁷ 23/2018. (X. 31.) OGY hat. (melléklet) 2018: 165.

³⁸ Geogold Kárpátia Kft. – Fe-Bio Felső-Bácskai Kft. 2019: 26.

³⁹ *Féltsük az időjárástól a napelemeket?* [é. n.].

⁴⁰ FICÉP Kft. 2019: 36.

⁴¹ ÉRCES-VASS 2019.

⁴² KÁTAI-URBÁN 2023.

⁴³ SIBALIN 2022: 29.

Az Energetikai Ásványvagyon-hasznosítási és Készletgazdálkodási Cselekvési Terv a légkörből kivont szén-dioxid hazai elhelyezésének két lehetséges módját említi: a kimerült szénhidrogén mezőben, valamint a mély sósvízes rezervoárban való tárolását. A dokumentum mindkettő kapcsán azonosít kockázatokat. Ilyen kockázatként jelöli meg például, hogy a szénhidrogénmezőket szénhidrogén termelésére, nem pedig szén-dioxid-tárolásra optimalizták. A sósvízes tárolóba beoldott szén-dioxid viselkedését pedig ugyancsak szükséges vizsgálni. A sűrűn lakott területek vonatkozásában a cselekvési terv külön tesz utalást az esetleges szén-dioxid-szivárgás veszélyére.⁴⁴

A második Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia felhívja a figyelmet, hogy a szén-dioxid-leválasztás és -tárolás technológiája kizárólag a legszigorúbb környezeti, biztonsági és fenntarthatósági feltételek teljesülése esetén alkalmazható, amely kapcsán alapvető szempont a hazai intézményrendszer tudására alapuló K+F fenntartása, és a fejlesztéseket hasznosító ipari háttér kialakítása és megerősítése. A stratégia konkrét cselekvési irányokat is megfogalmaz, egyebek mellett a geológiai kutatások folytatását, továbbá a hosszú távú környezeti, természeti és humán egészségügyi hatások, valamint a szén-dioxid ipari nyersanyagkénti hasznosíthatósága vizsgálatának szükségességét.⁴⁵

Általános következmény: fosszilis tüzelőanyagokkal való felhagyás elodázásának kockázata

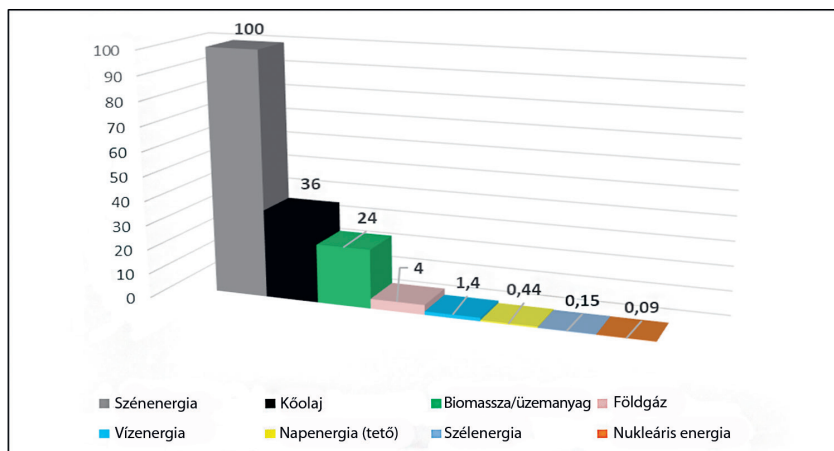
A Center for International Environmental Law washingtoni székhelyű környezetjogi szervezet honlapján 2019-ben közzétett elemzés figyelmeztetésként szolgál egy olyan forgatókönyv bekövetkezésének a lehetőségére, amelyben a CDR- és az SRM-technológiák kiterjedt és hatékony alkalmazása további évtizedekre rendszeresítené a fosszilis tüzelőanyagok energetikai célú hasznosításának gyakorlatát.⁴⁶ Ez ugyancsak energiaipari-biztonsági aggályokat hordoz magában, ugyanis – ahogy arra Brian Wang futurológus és James Conca környezettudós nevéhez köthető kutatások is rámutatnak – a fosszilis alapú energia-előállításához globális szinten lényegesen több haláleset kapcsolódik, mint a megújuló energiaforrásokhoz vagy a nukleáris energiához.⁴⁷ A vizsgálat eredményeit a következő ábra megfelelően szemlélteti.

⁴⁴ NFM 2017: 28–29.

⁴⁵ 23/2018. (X. 31.) OGY hat. (melléklet) 2018: 125.

⁴⁶ MUFFETT et al. 2019: 1.

⁴⁷ A halálesetek számába beleértendők a közvetlen hatások – például balesetek – miatt bekövetkezett, valamint a közvetett hatásokra – például megbetegedésekre – visszavezethető elhalálozások is. Forrás: CONCA 2016. A The Energy Factbook közleménye szerint azonban a veszélyes hulladékok okozta haláleseteket a kutatás adatai nem tartalmazzák. The Energy Factbook [é. n.].



2. ábra: 40 év becsült globális halálozási aránya (halálozeset/milliárd kWh) energiaforrások szerinti bontásban
 Forrás: SIBALIN 2022: 80. Adatok forrása: CONCA 2016 és CONCA 2012

A közzétett adatok alapján a vizsgált energiaforrások közül a legtöbb halálozeset a szénhez kapcsolódik, amelynek különösen a kitermelése és elégetése minősül veszélyesnek. A kőolaj a második legkockázatosabb energiaforrás, amely szintén a fosszilis tüzelőanyagok közé tartozik. A legkevésbé veszélyes fosszilis energiahordozó a földgáz, a rangsorban a negyedik helyen áll. A megújulók közül a biomasszára vezethető vissza a legnagyobb elhalálozási arány. Ennek legfőbb oka feltehetően a fűtéshez és a főzéshez globális szinten egyelőre még nagymértékben használt tűzifa, faszén és trágya által előidézett légszennyezés.⁴⁸ A biomassza-üzemű erőművek tartálybalesetei ugyancsak jelentős kihívásként értékelhetők.⁴⁹ Bár a halálozesetek számát nyilvánvalóan befolyásolja az energiaforrásoknak a globális energiamixben betöltött részaránya is, figyelemre méltó, hogy a szél-, a nap-, a víz- és a nukleáris energia alkalmazásából eredő halálozesetek együttes száma csupán a töredéke a fosszilis tüzelőanyagokhoz kapcsolódó elhalálozások mértékének.

A halálozeseteken alapuló veszélyességi értékelésen túlmenően további lényeges – a környezeti fenntarthatósággal közvetlenebb összefüggést mutató – szempontként indokolt utalni a fosszilis tüzelőanyagot alkalmazó energetikai létesítmények veszélyhelyzeti működésének kockázatára, amely során hatalmas mennyiségű üvegházhatású gáz kerülhet a légkörbe. Ezek között említhetők a robbanások, tüzesetek során előállt gázkibocsátások, a kútfejek, csőszervevények és csővezetékek szivárgásai vagy a tartályhajók olajszivárgása.⁵⁰ A kockázat súlyosságának érzékeltetésére megfelelő példa lehet a kaliforniai Aliso Canyon földgáztároló létesítményben először 2015 októberében jelentett,⁵¹ 118 napig tartó⁵² gázszivárgás, amely

⁴⁸ The Energy Factbook [é. n.].

⁴⁹ MUHORAY 2021.

⁵⁰ IUC–UNEP 2000.

⁵¹ WARRICK 2016.

⁵² MICHANOWICZ 2018.

közel 600 000 gépkocsi éves kibocsátásával megegyező mértékű hőcsapdhatást váltott ki. Ez volt az Egyesült Államok történetének legsúlyosabb ember által előidézett üvegházhatású-gáz-katasztrófája.⁵³

2. táblázat: Példák a geomérnökség energiaipari biztonságot érintő lehetséges következményeire

Lehetséges következmények	
SRM	Hőhullámok hatásai Erdő- és vegetációtüzek Hidrológiai kockázatok Széljárással kapcsolatos kockázatok
CDR	Szén-dioxid tárolásával kapcsolatos kérdések
	Fosszilis tüzelőanyagokkal való felhagyás elodázása

Forrás: Sibalin Iván szerkesztése

Következtetések

A geomérnökség a jövőben az éghajlatváltozás kezelésének kézenfekvő megoldása lehet, jelenlegi ismereteink szerint azonban több geomérnökségi technológia alkalmazhatóságával kapcsolatban jelentős aggályok merülnek fel. Ezek közé tartoznak bizonyos mellék- és kontra-produktív hatások, amelyek az éghajlatváltozás tendenciáját, és ezzel párhuzamosan napjaink környezeti problémáit akár súlyosabbá is tehetik. Következésképp a sikeres geomérnökség nyilvánvalóan pozitívan befolyásolná az energiaágazat biztonságát, ellenkező esetben azonban növekvő energiaipari-biztonsági kockázatokkal lehet számolni. Az éghajlatváltozás erősödő hatásai ugyanis fokozhatják a járulékos környezeti problémákat. Ezekre példaként hozhatók fel a még gyakoribbá és/vagy szélsőségesebbé váló hőhullámok, erdő- és vegetációtüzek, valamint a hidrológiai és széljárással kapcsolatos események, amelyek tovább veszélyeztethetik az energetikai rendszerek és rendszerelemek üzembiztonságát.

Egyes vélemények szerint a geomérnökség széles körű alkalmazásával a fosszilis tüzelőanyagok felhasználása további évtizedekre kitolódhat. Ennek energiaipari-biztonsági (és részben egészségügyi, környezetbiztonsági, valamint munkabiztonsági) vonatkozása egyfelől abban ragadható meg, hogy a fosszilis tüzelőanyagokhoz globális szinten összességében lényegesen több haláleset köthető, mint az energiatermelés egyéb vizsgált formáihoz. Másfelől a fosszilis tüzelőanyagokat alkalmazó energetikai létesítmények veszélyhelyzeti működése során hatalmas mennyiségű üvegházhatású gáz kerülhet a légkörbe. A mesterséges szén-dioxid-elnyelő technológiák vonatkozásában pedig a szén-dioxid tárolásával kapcsolatban merülnek fel további megoldásra váró kérdések.

Mindezen említett kockázatok elkerülése és/vagy kiküszöbölése a geomérnökség alkalmazhatóságának, valamint a környezeti fenntarthatóságnak – és egyben a fenntartható fejlődésnek is – elengedhetetlen energiaipari-biztonsági feltétele.

⁵³ WARRICK 2016.

Felhasznált irodalom

- ASZÓDI Attila (2018): A nyári hőhullám hatása a villamosenergia-termelésre. *Láncreakció – Aszódi Attila információs blogja*, 2018. augusztus 22. Online: https://aszodiattila.blog.hu/2018/08/22/a_nyari_hohullam_hatasa_a_villamosenergia-termelesre
- BALLA István et al. (2014): *Energianövények, biomassza termelés és felhasználás*. 6. tananyag. Online: http://nti.mkk.szie.hu/download/Biomassza%20alanyagok%20termel%C3%A9se/Biomassza_k%C3%B6nyv.pdf
- CONCA, James (2012): How Deadly is Your Kilowatt? We Rank the Killer Energy Sources? *Forbes*, 2012. június 10. Online: www.forbes.com/sites/jamesconca/2012/06/10/energys-deathprint-a-price-always-paid/?sh=11ed19cd709b
- CONCA, James (2016): The 'Deathprint' Of Energy Grapples With The Powers Of Regulation. *Forbes*, 2016. szeptember 30. Online: www.forbes.com/sites/jamesconca/2016/09/30/the-deathprint-of-energy-grapples-with-the-powers-of-regulation/?sh=6b22eb372c6b
- Euronews-AP (2021): Sikerült megfékezni a széntüzelésű hőerőmű felé terjedő erdőtűzet Törökországban. *Euronews*, 2021. augusztus 5. Online: <https://hu.euronews.com/2021/08/05/sikerult-megfekezni-a-szentuzelesu-hoeromu-fele-terjedo-erdotuzet-torokorszagban>
- ÉRCES Gergő – VASS Gyula (2019): Veszélyes ipari üzemek fenntartható tűzbiztonságának BIM alapú fejlesztési lehetőségei. *Védelem Tudomány*, 4(1), 131–161.
- ÉRCES Gergő – VASS Gyula – AMBRUSZ József (2023): Épületek károsító hatásokkal szembeni rezilienciájának jellemzői. *Polgári Védelmi Szemle*, 15(ksz.), 117–130.
- FICÉP Építőipari Kereskedelmi és Szolgáltató Kft. (2019): *A magyarországi villamosenergiaellátás éghajlati szempontú értékelése*. Online: [FICÉP_NATÉR_villamosenergia_serulekenyseg_tanulmany_VEGLEGES_20190531-ok \(gov.hu\)](https://www.ficp.hu/velemenyek/vegleges-20190531-ok)
- Geogold Kárpátia Kft. – Fe-Bio Felső-Bácskai Bioenergetikai Kft. (2019): *A távhőellátás éghajlati szempontú értékelése*. Online: https://nater.mbfisz.gov.hu/sites/nater.mfגי.hu/files/files/NA-TeR_Tavhoellatas_tanulmany.pdf
- GYULAI Iván (2013): Fenntartható fejlődés és fenntartható növekedés. *Statistikai Szemle*, 91(8–9).
- Information Unit for Conventions – United Nations Environment Programme (IUC-UNEP) (2000): *Climate Change Information Sheet 22. How Human Activities Produce Greenhouse Gases*. Online: <https://unfccc.int/cop3/fccc/climate/fact22.htm>
- Innovációs és Technológiai Minisztérium (ITM) (2020): *Magyarország Nemzeti Energia- és Klímaterve*. Online: https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-01/hu_final_necp_main_hu_0.pdf
- Innovációs és Technológiai Minisztérium (ITM) et al. (2020): *Jelentés az éghajlatváltozás Kárpát-medencére gyakorolt esetleges hatásainak tudományos értékeléséről*. Online: <https://banyasz.hu/images/klimapolitika/Jelent%C3%A9s%20az%20%C3%A9ghajlatv%C3%A1ltoz%C3%A1s%20K%C3%A1rp%C3%A1t-medenc%C3%A9re%20gyakorolt%20esetleges%20hat%C3%A1sainak%20tudom%C3%A1nyos%20%C3%A9rt%C3%A9kel%C3%A9s%C3%A9r%C3%A9l.pdf>
- Féltsük az időjárásról a napelemeket? [é. n.]. Online: <https://napelemrendszer.info/feltsuk-az-idojarastol-a-napelemeket.html>
- KÁTAI-URBÁN, Maxim et al. (2023). Identification Methodology for Chemical Warehouses Dealing with Flammable Substances Capable of Causing Firewater Pollution. *Fire*, 6(9), 345. Online: <https://doi.org/10.3390/fire6090345>
- Magyar Napelem Napkollektor Szövetség (MNNSZ) (2020): *A kaliforniai erdőtűzek lehúzták a napelemek múlt havi termelését*. Online: www.mnnsz.hu/a-kaliforniai-erdotuzek-lehuztak-a-napelemek-mult-havi-termeleset/
- MICHANOWICZ, Drew (2018): Op-Ed: The Aliso Canyon Gas Leak was a Disaster. There are 10,000 More Storage Wells Out There Just Like It. *Los Angeles Times*, 2018. május 14. Online: www.latimes.com/opinion/op-ed/la-oe-michanowicz-aliso-canyon-gas-leak-20180514-story.html

- MUFFETT, Carroll et al. (2019): *Fuel to the Fire – How Geoengineering Threatens to Entrench Fossil Fuels and Accelerate the Climate Crisis*. Center for International Environmental Law. Online: www.ciel.org/wp-content/uploads/2019/02/CIEL_FUEL-TO-THE-FIRE_How-Geoengineering-Threatens-to-Entrench-Fossil-Fuels-and-Accelerate-the-Climate-Crisis_February-2019.pdf
- MUHORAY Árpád (2021): A katasztrófavédelem kihívásai a 21. században a Nemzeti Biztonsági Stratégia tükrében. *Védelmi-biztonsági Szabályozási és Kormányzástani Műhelytanulmányok*, 16. Online: VBSZK_Műhelytanulmányok_2021_16_Muhoray_Arpád_A_katasztrófavédelem_kihívásai_a_21_században_a_Nemzeti_Biztonsági_Stratégia_tükrében.pdf (uni-nke.hu)
- Nemzeti Fejlesztési Minisztérium (NFM) (2017): *Energetikai Ásványvagyon-hasznosítási és Készlet-gazdálkodási Cselekvési Terv*. Online: https://2015-2019.kormany.hu/download/6/b/4/81000/%C3%81Cst_2018.pdf
- OHLIGER, Tina (2017): *Környezetpolitika: általános elvek és alapvető keretek*. Online: [www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/fiches_techniques/2013/050401/04A_FT\(2013\)050401_HU.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/fiches_techniques/2013/050401/04A_FT(2013)050401_HU.pdf)
- Országos Atomenergia Hivatal (OAH) (2020): *Magyarországon nem emelkedett a háttérsugárzás a Csernobil melletti erdőtüz miatt*. Online: www.oah.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/web?OpenAgent&article=news&uid=32A2D6D8A302266FC125854200476102
- PALEJA, Ameya (2022): *The UK's Largest Carbon Capture Plant Is Now Operational*. *Interesting Engineering*, 2022. június 27. Online: <https://interestingengineering.com/innovation/uk-largest-carbon-capture-plant-operational>
- PÉLINÉ NÉMETH Csilla (2021): Extrém szélsőséges viharokat hoz a klímaváltozás Magyarországon. *Másfélök*, 2021. május 7. Online: <https://masfelfok.hu/2021/05/07/extrem-szelesbessegu-viharokat-hoz-a-klimavaltozas-magyarorszagon/>
- PIECZKA Ildikó (2021): Geomérnökség és klímaváltozás: bizonytalan vészmegoldás, sok kérdőjellel és még több veszéllyel. *Másfélök*, 2021. március 3. Online: <https://masfelfok.hu/2021/03/03/geomernokseg-es-klimavaltozas/>
- RICHTER, Alexander (2021): *World's Largest Direct Air Capture and CO2 Storage Plant On in Iceland*. *Think GeoEnergy*, 2021. szeptember 13. Online: www.thinkgeoenergy.com/worlds-largest-direct-air-capture-and-co2-storage-plant-on-in-iceland/
- SACCO, Nicoletta et al. (2022): *Geo-Engineering: A Roadmap Towards International Guidelines*. *Publications Office of the European Union*, JRC99777. Online: <https://doi.org/10.2788/29362>
- SCHAFFHAUSER Tibor (2021): Elon Musk pénzdíja és a klímaváltozás mesterséges megfékezése. *Green Policy Center*, 2021. január 29. Online: www.greenpolicycenter.com/2021/01/29/elon-musk-penzdija-es-a-klimavaltozas-megfekezese/
- SIBALIN Iván (2022): *Az energetikai rendszerek fenntartható működésével kapcsolatos iparbiztonsági tevékenységek stratégiai célú kutatása és fejlesztése*. PhD-disszertáció. NKE. Online: https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/20.500.12944/19565/sibalin_ivan_doktori-ertekezes.pdf?sequence=11&isAllowed=y
- The Energy Factbook [é. n.]: *Energy's Deathprint*. Online: <https://khuurer.wordpress.com/energys-deathprint/>
- TOLDI Ottó (2021): Nemzetközi klímaváltozási akciónap a geoengineering tükrében. *Klímapolitikai Intézet*, 2021. május 14. Online: <https://klimapolitikaiintezet.hu/cikk/nemzetkozi-klimavaltozasi-akcionap-a-geoengineering-tukreben>
- TÓTH András – SPOSNÉ KECSKEMÉTHY Klára – ENDRŐDI István (2021): A magyar szénhidrogéniparban előfordult katasztrófák, azok tanulságai és a megelőzés módozatai. 2. rész. *Hadmérnök*, 16(1), 129–143. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2021.1.8>
- WARRICK, Joby (2016): *California Gas Leak Was the Worst Man-Made Greenhouse-Gas Disaster in U.S. History, Study Says*. *The Washington Post*, 2016. február 25. Online: www.washingtonpost.com/news/energy-environment/wp/2016/02/25/california-gas-leak-was-the-worst-man-made-greenhouse-gas-disaster-in-u-s-history-study-says/

Jogi források

- 18/2013. (III. 28.) OGY határozat a Nemzeti Fenntartható Fejlődés Keretstratégiáról. Melléklet a 18/2013. (III. 28.) OGY határozathoz. Nemzeti Fenntartható Fejlődési Tanács. 2013. Online: <https://njt.hu/jogszabaly/2013-18-30-41>
- 23/2018. (X. 31.) OGY határozat a 2018–2030 közötti időszakra vonatkozó, 2050-ig tartó időszakra kitekintést nyújtó második Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégiáról. Melléklet a 23/2018. (X. 31.) OGY határozathoz. Innovációs és Technológiai Minisztérium (ITM). 2018. Online: https://njt.hu/document/5c/5c6420184130000023_1.PDF

Vég Róbert László¹ 

A 4D nyomtatás és az okosanyagok alkalmazásának lehetőségei²

Possibilities of Using 4D Printing and Smart Materials

A 3D nyomtatás mint additív gyártási technológia egyre jobban elterjed napjainkban, egyrészt az ipari felhasználás szintjén, másrészt pedig az otthoni hobbi-felhasználásban. A 3D nyomtatás során egy számítógépes modellt valósítanak meg valamilyen nyomtatási technológia segítségével rétegről rétegre. A felhasználási terület széles körűvé válása által új fogalom jelent meg, a 4D nyomtatás, ahol a negyedik dimenzió az idő lett. Az így létrehozandó nyomtatott anyag képes lesz a külső hatásoknak (például hőmérséklet, nyomás, nedvesség) megfelelően módosulni, átalakulni vagy pedig mozogni. A nyomtatás során felhasznált anyagok köre mára már nagyon széles körűvé vált, ezek mellett megjelentek az úgynevezett okosanyagok is, amelyek új távlatokat nyitnak az additív gyártástechnológia területén.

Kulcsszavak: 3D nyomtató, 3D nyomtatás, 4D nyomtatás, okosanyagok

3D printing as an additive manufacturing technology is becoming more and more widespread today, both for industrial applications and for hobby use at home. During 3D printing a computer model be realized layer by layer using some kind of printing technology. As the field of application has expanded, a new concept has also emerged, called 4D printing, where the fourth dimension has become time. The printed material thus created will be able to change, transform or move according to external influences (e.g. temperature, pressure, humidity). The range of materials used for printing has now become very wide, and the so-called smart materials have also appeared, opening up new horizons in the field of additive manufacturing.

Keywords: 3D printer, 3D printing, 4D printing, smart materials

¹ Egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, e-mail: vegh.robert@uni-nke.hu

² A cikk a TKP2021-NVA-16 számú project az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatással, a Tématerületi Kiválósági Program 2021 TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Bevezetés

A technika folyamatos fejlődése mindig egy-egy új területet nyit meg a lehetőségek tárházából, és most idetartozik a 3D nyomtatás is. Jelenleg a tudomány és a technológia eljutott arra a szintre, hogy számítógépek és megfelelő programok segítségével tervezni tudjunk, esetleg előzetes vizsgálatokat is végre tudunk hajtani, és le is tudjuk gyártani a termékeket. Az ipari termelés a 20. század végére két egyszerű szubsztraktív eljárásra korlátozódott, egyrészt az öntésre, másrészt pedig a megmunkálásra. A 3D nyomtatás a terméket nulláról állítja elő, vagyis anyag hozzáadásával, ezért ezt az eljárást additív gyártásnak nevezik.

Napjainkban a 3D nyomtatás különböző technológiáival már nemcsak műanyagokat, hanem fémeket és egyéb speciális anyagokat, akár építőanyagokat is lehet nyomtatni. Alapvetően viszont a 3D nyomtatást először műanyagok nyomtatására fejlesztették ki, csak később váltak vele nyomtathatóvá más anyagok, mint például a fémek. Napjainkra már számos nyomtatási technológia vált ismertté, amelyeket nagyon sok cikkben és tanulmányban kellő részletességgel feldolgoztak.

A 3D nyomtatás gyors megoldást kínál különböző szakterületeken, így a prototípusgyártás mellett többek között az alkatrész-utánpótlási problémákra is, de a felhasználási lehetőségek között számos katonai aspektussal is találkozhatunk.³

A 3D nyomtatás katonai alkalmazásában kiemelhető a katonai robbantástechnika mint egyik lehetséges felhasználó. A 3D nyomtatás alkalmas kis szériaszámban vagy egyedi méretekben tervezett töltetek alkatrészeinek gyártásához. A kumulatív töltetek alkatrészei és lineáris vágótöltetek esetében jelenleg is folynak gyakorlati alapokon nyugvó vizsgálatok a 3D nyomtatás területén.⁴

Nem teherviselő fegyveralkatrészek gyártására is alkalmas lehet a 3D nyomtatás.⁵ Katonai felhasználás szempontjából egy további említésre érdemes terület például a katonai célra alkalmazott drónok, UAV-k (Unmanned Aerial Vehicle – pilóta nélküli légi jármű) gyártása, illetve ezek alkatrész-utánpótlása céljából alkalmazott 3D nyomtatás is.⁶

A 3D nyomtatást széleskörűen alkalmazzák a legkülönbözőbb területeken, így már az űruhafejlesztés esetében is kihasználják ennek az új gyártástechnikának a lehetőségeit. A 3D Knit BioSuit™ nevű űruha prototípusának karhüvely részét egy speciális, többrétegű 3D kötési technikával készítik, amely biztosítja az elvárt tömítést. Anyagként többfunkciós polietilén szálakat használnak, amely rugalmas és nagy szakítószilárdságú anyagként biztosítja a nyomást, hőmérséklet-szabályozást és a részleges sugárvédelmet.⁷

A technológia alkalmazása megkönnyítheti és segítheti az oktatói munkát, többek között a műszaki felsőoktatásban. A működő alkatrészek, részegységek grafikus megjelenítése például ma már elvárás, de nem helyettesítheti a fizikai modelleket, metszeteket teljes mértékben.

³ GÁL–NÉMETH 2019.

⁴ EMBER–ÁDÁM 2022: 36–38; EMBER 2023: 9–13.

⁵ VÉGVÁRI–HEGEDŰS–ZENTAY 2022.

⁶ HEGEDŰS 2023.

⁷ Self-Assembly Lab 2023a.

Ezeknek az oktatási eszközöknek a nagy pontosságú előállítására mára már alkalmazott gyakorlattá vált.⁸

A 3D nyomtatók otthoni és ipari felhasználása számos veszélyt rejt, mivel nem megfelelő használata káros hatással lehet az egészségre. Az alapanyagok és a nyomtatási paraméterek kiválasztása összetett folyamat, amelyet különböző eljárásokkal támogatni lehet.⁹

A nyomtatás során felhasznált anyagok köre egyre bővül, nagyon sok feladatra és különböző igénybevételre tudunk tárgyakat elkészíteni, ugyanakkor ezek nagy része káros a környezetre és esetleg az egészségre. A 3D technológia elterjedésével és az alkalmazott anyagok körének bővülésével egyetemben szem előtt kell tartani és foglalkozni kell a környezetszennyezési és egészségre káros hatások feltérképezésével is.¹⁰

A 4D nyomtatás

A 4D nyomtatás olyan 3D nyomtatás, amely egy negyedik dimenziót ad a gyártástechnológiához, az időt, vagyis az idővel változik. A kinyomtatott tárgy képes lesz a környezeti ingerekre reagáló belső tulajdonságai miatt átalakulni, módosulni vagy pedig önállóan mozogni.¹¹

A 4D nyomtatás közvetlenül a nyomtatott tárgy létrehozásához felhasznált anyagoktól függ. Ezek az anyagok az úgynevezett intelligens anyagok, olyan szilárd anyagok, amelyek tulajdonságaikat külső ingerek (hő, fény, páratartalom, nyomás, mágnesesség stb.) hatására megváltoztatják. Egy kutató¹² szerint: „A mai háromdimenziós anyagi világ passzív, élettelen anyagokból épül fel, mint a téglák, az acél és az üveg. A négydimenziós struktúrák aktív, animált, úgynevezett intelligens anyagokból készülnek, amelyek önállóan mozognak – egy ingerre reagálva duzzadnak, zsugorodnak vagy hajlanak – passzív anyagokkal kombinálva. Ez lehetővé teszi számukra, hogy robotika, elektronika vagy motorok nélkül mozogjanak és változtassák meg alakjukat.”¹³

Az anyagok egy része úgynevezett emlékező lehet, vagyis visszanyerik eredeti alakjukat a körülmények ismételt megváltozásakor. Ezek az anyagok nagyrészt még kísérleti fázisban vannak, így az egészségre gyakorolt hatásai, kockázataik nem ismertek.

A 4D nyomtatáshoz ihletet adtak a növények, amelyek nagy rugalmassággal és hatékonysággal alkalmazkodnak a természet összetett folyamataihoz. A fenyőtoboz például természetes intelligens anyagnak tekinthető, amelynek működése két különböző irányban futó merev szálrétegen keresztül történik. Ezek a szálrétegek lehetővé teszik a kúp kinyitását vagy zárását, ezáltal a magok csak akkor szabadulnak fel, amikor a talajban csírázniuk kell meleg és száraz időjárás esetén. Ha a páratartalom magas, a kúp zárva marad, így védve meg a magokat.

⁸ GYARMATI–HEGEDŰS–GÁVAY 2022.

⁹ GYARMATI 2006: 11–16; GYARMATI 2011.

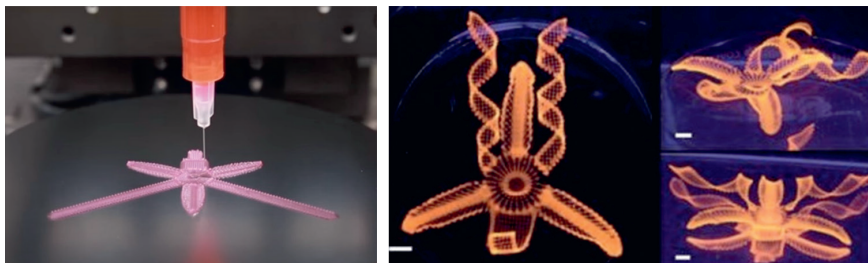
¹⁰ RÁKOSI et al. 2023.

¹¹ Shaoxing Xinshan Tudományos Technológiai Co., Ltd. 2021.

¹² Anna Ploszajski (anyagtudós).

¹³ SOUZA 2021.

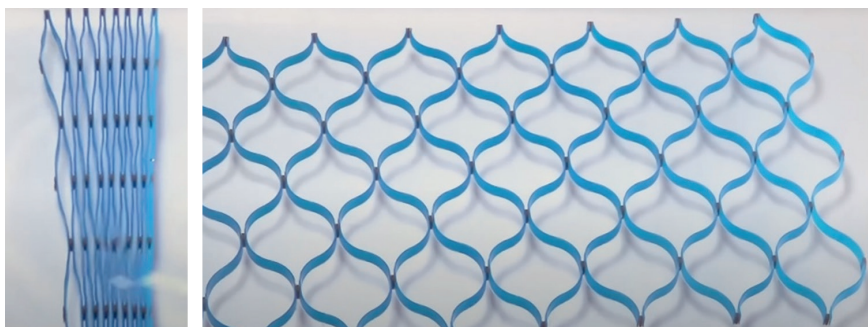
A 4D nyomtatás célja, hogy képes legyen magát az anyagot programozni, ami a nyomtatás után reagál a környezeti paraméterekre. Növény ihlette az 1. ábrán látható szerkezetet: a 4D nyomtatott hidrogél (a hidrogél csillám és adott fémek nyomelemeiből összetevődő polimer anyag) kompozit szerkezetei vízbe merülve alakot váltanak.



1. ábra: 4D nyomtatással előállított, növények ihlette szerkezet

Forrás: Mandiner 2016 és EFH 2021

A 4D nyomtatás példaként látható egy rácsos elem (2. ábra), amely nyomtatási méretének sokszorosára bontakozik ki, vagy pedig egy nyomtatott virágforma (3. ábra), amely összehárja szirmait, amikor meleg vízzel érintkezik.



2. ábra: 4D nyomtatással előállított rácsos elem méretváltozása

Forrás: Műszaki Magazin [é. n.]



3. ábra: 4D nyomtatással előállított virágforma méretváltozása

Forrás: Műszaki Magazin [é. n.]

A 4D technológia problémájaként lehet megemlíteni, hogy rendkívül időigényes és bonyolult utómunkálatokkal, a komponensek mechanikus programozásával jár. Nehézséget jelent, hogy a felhasználható anyagok köre legtöbbször csak a puha polimerekre korlátozódik, ezáltal kevesebb a lehetőség a különböző szerkezeti kialakításokra. Egy nemzetközi kutatócsoport (Georgia Tech, Singapore University of Technology and Design [SUTD], a Pekingi Jiaotong Egyetem, valamint a Zhejiang University, kínai állami kutatóegyetem) a 4D nyomtatást leegyszerűsítő, ugyanakkor a lehetőségeit növelő megoldást dolgozott ki, amelynek keretében a mechanikus utóprogramozást a 3D nyomtatási folyamatba integrálták. A kidolgozott számítógépes szimulációs tervezéssel nagyfelbontású 3D részek nyomtathatók ki, majd hővel közvetlenül és gyorsan állandó alakzatokká dolgozhatók át. Ezzel a módszerrel az anyagok és a nyomtatási idő is 90 százalékkal csökkenthető, a mechanikus programozás ezáltal a tervezési és gyártási folyamatokból kiiktatható. Olyan kompozitanyagokat is ki tudnak nyomtatni, amelyek egyik összetevője szobahőmérsékleten puha, de belső nyomásra programozható, a másik pedig merev.¹⁴

Ahogy a 3D nyomtatás mellett megjelenik a 4D nyomtatás és a speciális anyagok (okosanyagok) alkalmazása, úgy várható, hogy az egyre jobban terjedő mesterséges intelligencia (AI)¹⁵ is megjelenik ebben a gyártástechnológiában, és elkezdődik a 3D nyomtatás és mesterséges intelligencia együttműködése is. Az AI alkalmazása optimalizálhatja a nyomtatási folyamatot, ezáltal segíthet elkerülni a hibákat, az együttműködés képes lehet megtalálni azokat a hibákat, amelyek miatt a modell nem nyomtatható 3D-ben. Az AI valós idejű vezérlése csökkentheti a nyomtatási időt és az anyagfelhasználást, valamint a nyomtatási folyamat után is használható a problémák észlelésére és a nyomtatott modellek minőségellenőrzésének javítására. A fejlesztésben eredményeket ért el egy AI Build nevű londoni cég, amely többek között megalkotott egy automatizált MI-alapú 3D nyomtatási technológiát, úgynevezett intelligens extruderrel, ami lehetővé teszi a problémák észlelését. Az AiMaker nevű nagy pontosságú robotvég-végfeldolgozó egység, amely ipari robotkarokhoz csatlakozik, képes nagyméretű tárgyak nyomtatására nagy sebességgel és pontossággal. Az AI algoritmusokat érzékelőkből és kamerákból származó valós idejű gyártási adatokkal kombinálva észleli a problémákat, és a gyártási folyamat közben önálló döntéseket hoz a lehető legjobb nyomtatási minőség elérése érdekében. A cég fejlesztései között megtalálható az AiSync nevű szoftver, amely még a legfejlettebb, többszempélyes szerszámpályák létrehozását is felgyorsítja és automatizálja egyetlen, intuitív felhasználói felületen keresztül. Hatékony jelentéskészítési és elemzési funkciókkal is fel van szerelve, így a teljes 3D nyomtatási folyamat optimalizált és teljes mértékben megismételhető. Az AiSync 86%-kal gyorsabban építi fel a szerszámpályákat, a sikertelen felépítések 65%-kal csökkentek, az alkatrészek 3x erősebbek.¹⁶ Az AI részt vehet új anyagok feltalálási folyamatában is, ahol algoritmusai segítségével „előre megjósolhatja”, hogy mely kémiai építőelemek kombinálhatók mikroszinten a kívánt funkciókkal és tulajdonságokkal rendelkező szerkezet létrehozásához.¹⁷

¹⁴ Mandiner 2017.

¹⁵ NÉMETH-VIRÁGH 2022.

¹⁶ AiSync [é. n.].

¹⁷ *A mesterséges intelligencia és a 3D nyomtatás együttműködése* [é. n.].

A 4D nyomtatás alkalmazási lehetőségei

Az ipari alkalmazásnál is fontosabb területe lehet a jövőben a 3D nyomtatásnak az orvostudomány. Elsőként sérült állapotoknak készítettek protéziseket (például műláb kutyának, műcsőr sasnak), de egyre jobban terjed az emberi pótvégtagok előállítására is. Egyik jellemző alkalmazási orvostechikai terület a fogászat. A gyógyítás területén új lehetőséget teremt a 4D nyomtatás, amikor a 3D nyomtatással előállított termék a testbe beépítve valamilyen hatásra (például víz, elektromos áram, hő stb.) megváltoztatja alakját vagy tulajdonságát. Elő lehet állítani olyan orvostechikai termékeket (implantátumok), amelyek képesek az alakváltozásra, amint a testtel érintkeznek. További lehetőségeket tartogat a bionyomtatás, amikor sejtek nyomtatásával szöveteket, szerveket lehet létrehozni, ezáltal a beteg saját sejtjeiből készült szövetekkel lehet helyettesíteni a károsodott részeket.¹⁸

Példaként lehet említeni a 4D nyomtatással svájci kutatók által előállított világ legkisebb sztentjét (a sztent egy érfalat kítámasztó speciális drótháló, amelyet az érsebészetben alkalmaznak az elzáródott erek tágitására és a vér áramlásának biztosítására), amely magzatoknál, méhen belüli műtételnél alkalmazható. Ez az érháló negyvenszer kisebb, mint a jelenleg használatos változatok.¹⁹

További példa lehet a Harvard kutatói által kifejlesztett speciális, úgynevezett „élő tinta”, amely előállításánál genetikailag módosított kólibaktériumot és egyéb más mikrobákat használtak fel, amelyeket vegyítve élő nanoszálakat hoztak létre. Ezeket kötegelve és további vegyi anyagokkal keverve hozták létre azt a „tintát”, amelyet egy egyszerű 3D nyomtatóban is fel lehet használni.²⁰

Az élő, szerves szövetek 3D nyomtatását bioprintingnek nevezik, ahol a 3D nyomtató bioprintingfejből adagolnak sejteket oda, ahova pontosan szükséges, ez lehetővé teszi szerves szerkezetek felépítését vékony rétegekből. A bionyomtatók nyomtatás közben vagy az után oldható gélt is ki tudnak juttatni, amely alkalmas a sejtek védelmére és megtartására. Sikeres kísérleteket hajtottak végre, amelynek keretében gombákat vagy algákat tartalmazó, úgynevezett élő anyagot nyomtattak ki. A 3D bionyomtatás problémája, hogy a nyomtatás után a sejtek és hidrogének (biotinták) felhasználásával létrehozott szövetek (szervek) megmaradnak statikus formájukban. Az így létrehozott szervekből hiányzik az emberi szervezetben meglévő komplexitás. A 4D nyomtatás pótolja a hiányt, amikor a létrehozott szövet dinamikussá válik, vagyis képes a molekuláris térszerkezet megváltoztatására, így reagál az ingerekre és a biomechanikai tulajdonságai hasonlóak az emberi szervekhez. A negyedik dimenzió olyan szövetek létrehozását teszi lehetővé, amelyek teljes mértékben utánozzák a fizikai környezetet, és lehetővé teszik a teljes körű alkalmazásukat az orvostudományban.²¹

A 3D nyomtatás és a nanotechnológia kombinálásával lehetőség nyílik tárgyak nano- vagy molekulaszinten történő alakítására. A nanoprinting alkalmazásával lehetséges lehet bármilyen formájú tárgyat előállítani bármilyen anyagból, bármilyen formában. Ez a technológia jelen-

¹⁸ Weborvos 2023; FÜZES 2018b.

¹⁹ MTI 2019.

²⁰ Hvg.hu 2023.

²¹ MEIXNER 2022.

leg még csak elméleti lehetőség, így a nanoprinting munkakörnyezetre gyakorolt hatásával kapcsolatban nincs információ.

A 4D nyomtatás valódi alkalmazási lehetőségei még növekedési, fejlesztési szakaszban vannak, de bizonyos alkalmazási lehetőségeit érdemes megvizsgálni, ilyen terület a textilipar is. Már jelenleg is számos vállalat (Adidas, Nike stb.) állít elő 3D nyomtatással, az egyedi igényeket szem előtt tartva ergonomikus cipőket. Ez a technológia alkalmassá válhat arra, hogy katonáknak készítsenek vele egyénre szabott felszereléseket, például egészségügyi szenzorokkal felszerelt bakancsot. A 4D nyomtatással lehetőség van olyan ruházat előállítására, amely megváltoztathatja az alakját és alkalmazkodhat a klímához vagy egy adott pillanat körülményeihez. A ruházat alapanyaga, a textil képes lehet arra, hogy mint egy függöny az ablakban – a perforációi programozásával – erős napfényre reagálva bezáródjon, így biztosítja a szükséges árnyékolást, vagy hogy felhős időben nyitva legyen.²²

Az építőiparban a 4D nyomtatás és az intelligens anyagok alkalmazása olyan épületburkoló elemeket eredményezhet, amely alkalmazkodni tud az éghajlat változásához, reagálva a kapott ingerekre. A jövőbeli alkalmazás során, bár kissé futurisztikusnak tűnhet most, az építőiparban és a gyártásban az alkatrészek emberi beavatkozás nélkül önállóan átalakulhatnak a nyersanyagokból a végleges beépített szerkezetekké. A 4D nyomtatás olyan anyagokat állíthat elő a jövőben, amelyek alkalmazkodnak a használatukhoz vagy az őket körülvevő környezethez. Ez az építési technológia rugalmasabb és könnyebb szerkezetek előállításához vezethet, amelyek képesek reagálni a körülöttük levő világra.²³

Az infrastruktúra területén egy vízelvezető cső akár összehúzódhat vagy kitágulhat a víz áramlásának megfelelően, vagy pedig a csatornarendszer a bél perisztaltikus mozgásának megfelelő mozgásra is képes lehet, vagyis összehúzódásokon és ellazulásokon keresztül képes elszállítani a hulladékot, illetve legyőzni a terep egyenetlenségeit.²⁴

A 4D nyomtatás egyik fő alkalmazási területe a jövőben az űripar lehet, ahol fontos szempont a helytakarékoság. Egy lapos, fix és mozgatható részekkel ellátott kiindulási forma egy lépésben történő kinyomtatása nagyon hatékony, mivel bonyolultabb és időigényesebb lenne az ilyen összetett tárgyakat külön-külön legyártani, vagy több részből összeilleszteni. Az így kinyomtatott lapos tárgyak lényegesen helytakarékosabban szállíthatók és csak a célállomáson, az űrben kell őket összeilleszteni. Példaként lehet említeni az Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETH Zürich) tudományos kutatóintézet munkáját, amely 4D nyomtatási technológia segítségével mozgatható, megváltoztatható objektumokat fejlesztett ki, amelyekből 3D tárgyak hajtogathatók, vagy pedig az alakjuk a terheléstől függően változik. A kutatócsoport egyelőre csak nyomóerő hatására változó szerkezeteket állít elő, de fejlesztési céljuk, hogy az alapanyag variálásával olyan tárgyakat állítsanak elő, amelyek a hő vagy a páratartalom változása hatására változtassák meg formájukat. Az űriparban hasznos lehet olyan napelemtáblák előállítása, amelyeket összehajtogatva juttatnak Föld körüli pályára és végleges alakjukat keringés közben veszik fel.²⁵ A ZORTRAX cég a Formnext 2022 kiállításon

²² SANCHEZ 2021; GÁL-NÉMETH 2019: 240–241.

²³ TIBBITS [é. n.].

²⁴ SOUZA 2021.

²⁵ *Jön a 4D nyomtatás?* [é. n.]; BERTA 2017.

4D modelleket is bemutatott, amelyeket egy M300 Dual 3D nyomtatóval állított elő. Ezeket az elektromosan aktivált mozgású alkatrészeket az Európai Űrügynökséggel való szerződés keretén belül készítették el.²⁶

Hagyományos és különleges nyomtatási anyagok, okosanyagok

A 3D nyomtatáshoz elsőként alkalmazott anyagok a műanyagok voltak. A technológia terjedésével, az alkalmazás széleskörűvé válásával nagymértékben megnőtt a 3D nyomtatókban felhasználható anyagok köre. A hagyományos és széleskörűen alkalmazott alapanyagok (PLA – Polylactic Acid, Nylon – Polyamide stb.) mellett már porcelánt, acélt, üveget és akár fát is fel lehet használni, ugyanakkor megnyílt a lehetőség az úgynevezett okosanyagok alkalmazására is. Hogy megérthessük az okosanyagokban rejlő lehetőségeket, célszerű áttekinteni a hagyományos és széles körben, otthoni és ipari felhasználásra alkalmas anyagok körét.

A PLA egy általános felhasználású, sokoldalúan alkalmazható anyag, amely a legtöbb nyomtatóval jól nyomtatható, a nyomtatás során fellépő hibalehetőség minimális és nagyon sok színben kapható. Biokompatibilis, kukoricakeményítóből állítják elő. A kinyomtatott tárgy kellő szilárdsággal rendelkezik, ugyanakkor nem rideg. Hobbicélra kiválóan alkalmas, de nem UV-álló, így kültéri használatra nem megfelelő. A PLA-nak sok variációja létezik, például a soft PLA, a rugalmas változat, de megtalálható a karbonszállal erősített is. A Glow PLA változathoz az alapanyaghoz sötétben foszforeszkáló anyagot kevernek, amellyel eléri, hogy a sötétben a megfelelő feltöltődés (erős fényforrás segítségével) után zölden foszforeszkálnak. ESD PLA egy antisztatikus változat, amelynek használata olyan környezetben ajánlott, ahol fontos az előállított termék kislülés elleni védelme (műszerdobozok, speciális szerszámok).

Az ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) az iparban gyakran előforduló alapanyag, amely jól bírja az igénybevételt, a hőt és az UV-sugárzást, ugyanakkor rugalmasabb, mint a PLA, és kevésbé törékeny. Hátrányaként lehet említeni, hogy nem biokompatibilis, nyomtatás során kellemetlen szagot áraszt, a PLA-hoz képest hosszabb a nyomtatási ideje, nehéz vele nyomtatni, mert magas nyomtatási hőmérséklet szükséges, ugyanakkor érzékeny a környezeti hőmérsékletre, és rosszul is tapad a tárgyasztalra. Az acetone oldja, így acetonos oldatban felületkezelve, tökéletesen sima és fényes felület állítható elő. Az ABS alternatívájaként lehet említeni az ASA-t (Acrylonitrile Styrene Acrylate), amely az ABS jó tulajdonságait megtartja. Egyszerűbb, gyorsabb nyomtatást lehet elérni vele, magasabb fokú ellenállással rendelkezik a környezeti hatásokkal szemben. Matt végeredménnyel rendelkezik, alkalmas kültéri használatra emelt hőterhelés esetén is.

A nylon (Polyamide) erős, de mégis flexibilis alapanyag, amely jól bírja a fizikai igénybevételt. Magas nyomtatási hőmérséklet szükséges a nyomtatásához, és a párát erőteljesen szívja magába, ami csúnyább végeredményt eredményez.

²⁶ 3D ipar 2022.

A PP (PolyPropylene) úgynevezett „food safe”, vagyis ételmyszerrel is kapcsolatba kerülhet. Flexibilis, de magas nyomtatási hőmérséklettel rendelkezik, és a párát erőteljesen magába szívja, így a nyomtatási végeredmény csúnyább lesz.

Különleges nyomtatási anyagnak nevezhetjük a WoodFill nevű filamentet, amely farostokat tartalmaz (biopolimerből készül farostok hozzáadásával), és általa élethű fahatású termékeket lehet előállítani. Szilárdsága a PLA-hoz képest alacsonyabb. A nyomtatás során erőteljes faillatot áraszt és 100%-ban biológiailag lebomló. Szintén különleges nyomtatási anyag a StoneFill, amely 50%-ban köport tartalmaz. Porózus tapintású terméket lehet vele elérni, de az adalékok miatt a mechanikai szilárdsága kisebb. Kőhatású modelleket, maketteket lehet előállítani vele.²⁷ Ezeknek a speciális anyagoknak az egyik legjellemzőbb felhasználási területe lehet különböző műtárgyak reprodukciója, így csata- és hadszíntérkutatás során Zrínyi-Újvárnál előkerült leletek másolatát is esztétikusan lehet felhasználásukkal elkészíteni.²⁸

A Forust (amerikai székhelyű cég) speciális fanyomtatást fejlesztett ki, amelyben a fagegymunkálás melléktermékét, a fűrészport használják fel 3D nyomtatáson keresztül különböző tárgyak előállítására. A nyomtató alapanyag előállításához a fűrészport speciális anyaggal, a ligninnel keverik, a természetes, a fás szárú növények sejtfalában megtalálható polimerrel. A 3D nyomtatás során a fűrészport rétegenként hordják fel, majd a rétegek közé biológiailag lebomló ragasztóanyagot (nem mérgező) juttatnak. A nyomtatás során létrejött terméket a hagyományos fához hasonlóan lehet csiszolni és festeni. A 3D fanyomtatással készülhetnek bútorok, használati tárgyak, autók belső terében megtalálható faelemek, amelyek megszólalásig a valódi fára hasonlítanak.²⁹

A hagyományos, különleges nyomtatási anyagok, okosanyagok felosztás mellett beszélhetünk egy generációs felosztásról is, amelyben hat különböző generációt különböztetünk meg alapvetően történeti, időrendi meghatározás szerint. Az első generációs alapanyagoknál, amelyek viaszszerű, UV-fényre kikeményedő anyagok voltak, a fontos szempont az alakadás volt. A második generációnál már az esztétikus megjelenés is fontos volt, de a funkcionalitás még nem teljesült. A harmadik generációs anyagok (például ABS) már részleges funkcionális termékeket eredményeztek, de nem volt a 3D nyomtatáshoz teljes mértékben optimalizálva. A negyedik generációs anyagokból kinyomtatott termékek a más gyártási eljárásokkal előállítottakhoz hasonló tulajdonságokkal rendelkeznek, és magas követelményeket támaztó alkalmazásokban is jól használhatók. Az ötödik generációs anyagoknál az anyag fejlesztésénél kimondottan a 3D nyomtatáshoz állítják elő az alapanyagot, nem csak egy meglevő anyagot tesznek alkalmazhatóvá. Ez a folyamat a monomer kiválasztásától a polimerizáción és huzalkészítésen keresztül a késztermék előállításáig tart. A hatodik generációs anyagoknál már új módon funkcionáló termékeket lehet létrehozni, ahol megjelennek egy gyűjtőfogalom szerint csak okosanyagoknak nevezett alapanyagok.³⁰

Azokat az anyagokat, amelyeket úgy terveztek, hogy formájukban és funkciójukban rendkívül dinamikusak legyenek, ugyanakkor költséghatékonyabbak, mint a hagyományos anyagok,

²⁷ Kreatív3D.hu 2023; Tesztarena 2023.

²⁸ NÉMETH-SZABÓ-BALOG 2020.

²⁹ ANDERSEN 2021; Forust 2021.

³⁰ FÜZES 2018a: 8–9.

programozható anyagoknak (egyes megfogalmazásban hívják okosanyagoknak is) nevezik. Ezek könnyen előállíthatók, és képesek lapos csomagolású szállításra és önszerelésre (például önátalakító szénszál, egyedi textil kompozit), különleges képességekkel rendelkezhetnek, például programozható működtetés, és akár a színüket is képesek lehetnek megváltoztatni.³¹

A Rutgers mérnökei által a 3D nyomtatásnál felhasználható okosgél (hidrogél, víztartalmú gél) kifejlesztését a polip bőre inspirálta, amelyben színváltó sejtek, úgynevezett kromatoforok vannak. A polip ezekkel a sejtekkel tudja megváltoztatni puha bőre színét álcázás és kommunikáció céljából. A fejlesztés során fényérzékelő nanoanyagot építettek be a hidrogélbe, úgymond mesterséges izommá alakítva, amely a fény változásaira reagálva összehúzódik. A fényérzékelő okosgél a 3D nyomtatott rugalmas anyaggal kombinálva megváltoztatja színét, így álcázó hatást eredményez. A fejlesztések további célja a technológia érzékenységének, méretre szabhatóságának, tartósságának, valamint válaszidejének javítása.³²

Megalkottak egy 4D nyomtatási módszert az okosgélhez, amely úgynevezett élő struktúrák kialakulásához vezethet az emberi szervezetben, és alkalmas lehet célzott gyógyszeradagoláshoz. Az okosgél szerkezeti merevséget adhat a tüdőnek, és tartalmazhat kis molekulákat, vizet vagy gyógyszereket, amelyeket a testben kell szállítani és felszabadítani. Egy úgynevezett lágy robotika területét is létrehozhatja, és új alkalmazásokat tehet lehetővé a rugalmas érzékelőkben és beavatkozókban, valamint orvosi biológiai eszközökben. Gyakorlati alkalmazás során a litográfiatechnikát használták, amely gyors és olcsó anyagok 3D nyomtatását biztosítja. Ennek során a 3D elem nyomtatása egy speciális gyanta rétegeiből áll, ahol a gyanta a hidrogélből, egy vegyi anyagból, amely kötőanyagként működik, egy másik vegyi anyagból, amely megkönnyíti a kötést és egy festékből – amely szabályozza a fény bejutását – áll össze. Megismerték, hogy hogyan kell a hidrogél növekedését és zsugorodását szabályozni. 32 °C alatti hőmérsékleten a hidrogél több vizet szív fel és megduzzad, viszont ha a hőmérséklet meghaladja a 32 °C-ot, akkor a hidrogél elkezd kiüríteni a vizet és zsugorodni kezd. Megállapították, hogy a hőmérséklet megváltoztatásával a 3D nyomtatott elemet programozni lehet, és létre lehet hozni mozgást. A hidrogéllal az emberi haj szélességétől a több milliméter nagyságú tárgyak hozhatók létre.³³

Összefoglalás

A 3D nyomtatási technológia napjainkra egyre jobban kiforrja magát, és alig van olyan terület, ahol valamilyen formában ne alkalmazzák. Az ipar széleskörűen felhasználja ezt az additív gyártástechnológiát műanyagok, fémek és sok egyéb különleges anyag alkalmazásával. Az ipari használat mellett már elérhető az otthoni, hobbicélú felhasználás is, mivel viszonylag könnyen és olcsón beszerezhetővé vált. Természetesen sok olyan terület van, amely most még úgymond felfutóban van, és kevés lehetőséget lehet látni a tényleges felhasználásra. Ha

³¹ Self-Assembly Lab 2023b.

³² The Engineer 2021; PEREI 2021.

³³ BATES 2018.

belegondolunk, minden technológia hasonlóképpen indult, először szinte tudományos fantasztikumnak tűnt (mobiltelefon, mesterséges intelligencia stb.), és manapság pedig átszövik az életünket, szinte nélkülözhetetlenné váltak. Mivel a 3D nyomtatási technológia elterjedt, a technika fejlődésével egyetemben a cikkben vázolt egyes, talán túlzónak tűnő gondolatok is lehet, hogy ténylegesen megvalósított, reális megoldások lesznek.

Felhasznált irodalom

- 3D ipar (2022): *4D nyomtatás*. Online: www.3dipar.hu/post/%C3%BAj-term%C3%A9kek-a-zortrax-t%C3%B3l-a-formnext-2022-n
- 4D nyomtatás: adalékgyártás intelligens anyagokkal 2021. Online: <https://kp.hu/4d-nyomtatás-adalékgyártás-intelligens-anyagokkal-video/>
- AiSync [é. n.]: *Additív gyártási szoftver*. Online: <https://ai-build.com/>
- ANDERSEN Dávid (2021): *Már fát is lehet 3D-nyomtatni*. Online: www.zoldpalya.hu/design/fa-3d-nyomtatás-forust-302502.html
- BATES, Todd B. (2018): *Engineers 3-D Print Shape-Shifting Smart Gel*. Online: <https://phys.org/news/2018-01-d-shape-shifting-smart-gel.html>
- BERTA Sándor (2017): *Jön a 4D-nyomtatás?* *Sg.hu*, 2017. május 9. Online: <https://sg.hu/cikkek/it-tech/125183/jon-a-4d-nyomtatás>
- FÜZES László (2018a): *A 3D nyomtatás alkalmazása a termelésben*. Online: <https://quattroplast.hu/muanyagipariszemle/2018/06/a-3d-nyomtatás-alkalmazása-a-termelésben-07.pdf>
- FÜZES László (2018b): *A 3D nyomtatás egészségügyi és építészeti alkalmazásai*. Online: <https://quattroplast.hu/muanyagipariszemle/2018/05/a-3d-nyomtatás-egeszsegugyi-es-epiteszeti-alkalmazásai-01.pdf>
- EMBER István – ÁDÁM Balázs (2022): *Kumulatív töltetházak 3D nyomtatása*. *Hadmérnök*, 17(3), 35–44. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2022.3.2>
- EMBER István (2023): *Additív gyártástechnológia alkalmazási lehetőségei vágótöltet készítésére*. In SZELEI Ildikó (szerk.): *A hadtudomány és a 21. század*. Budapest: Doktoranduszok Országos Szövetsége, 9–15. Online: <https://hdi.uni-nke.hu/document/hdi-uni-nke-hu/hadtudomány-es-a-21-sz-kotet-2023.pdf>
- Forust (2021): *Forust is Building a Greener Future Through 3D Printed Wood*. Online: www.forust.com/
- GÁL Bence – NÉMETH András (2019): *Additív gyártástechnológiák katonai alkalmazásának vizsgálata, különös tekintettel a katonai elektronika területére*. *Hadmérnök*, 14(1), 240–241. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2019.1.19>
- GYARMATI József – HEGEDŰS Ernő – GÁVAY György (2022): *Automata sebességváltóban alkalmazott kapcsolt bolygóművek – Wilson-váltó: Harckocsi-sebességváltó modell kialakítása 3D nyomtatással oktatási célból*. *Műszaki Katonai Közlöny*, 33(3), 113–126. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2022.3.7>
- GYARMATI József (2006): *A nehézpuskát jellemző szempontok fontosságát kifejező súlyszámok számítása és statisztikai vizsgálata*. *Haditechnika*, (2), 11–16.
- GYARMATI József (2011): *Haditechnikai eszközök összehasonlítása*. Útmutató. Budapest: Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem.
- HEGEDŰS Ernő (2023): *Szálerősítéssel készült anyagok 3D-s nyomtatásának hadiipari alkalmazási lehetőségei I. rész: UAV-k és könnyűjárművek a haderőben és a katonai logisztikában*. *Haditechnika*, 57(4), 62–66. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.4.12>

- Hvg.hu (2023): Korábban még nem sikerült olyan élő anyagot készíteni, amit 3D-nyomtatásra is fel lehetett volna használni, a Harvard Egyetem tudósainak azonban most sikerült. *Hvg.hu*, 2021. november 29. Online: https://hvg.hu/tudomany/20211129_3d_nyomtatás_elo_tinta_epulet_elo_struktura
- Jön a 4D nyomtatás? [é. n.] Online: <https://iparnegyed.hu/jon-a-4d-nyomtatás/>
- Kreativ3D.hu (2023): *3D nyomtatás alapanyagai*. Online: <http://kreativ3d.hu/3d-nyomtatás-alapanyagai>
- Logisztika.com (2018): *A jövő technológiái, avagy mi jöhet az IoT és a mesterséges intelligencia után?* Online: <https://logisztika.com/a-jovo-technologiai-avagy-mi-johet-az-iot-es-a-mesterseges-intelligencia-utan/>
- Mandiner (2016): 4D nyomtatás. *Mandiner*, 2016. március 7. Online: <https://mandiner.hu/kultura/2016/03/4d-nyomtatás>
- Mandiner (2017): Egyszerűbb és gyorsabb lesz a 4D nyomtatás. *Mandiner*, 2017. április 19. Online: <https://mandiner.hu/kultura/2017/04/egyszerubb-es-gyorsabb-lesz-a-4d-nyomtatás>
- MEIXNER Zoltán (2022): 3D bionymtatás – kis iparág, mérhetetlenül nagy potenciállal. *Computerworld*, 2022. február 20. Online: <https://computerworld.hu/technologia/3d-bionymtatás-egy-kis-iparág-merhetetlenul-nagy-potenciallal-306729.html>
- MTI (2019): 40x kisebb, mint amit most használnak az orvosok: kész az új sztent. *Hvg.hu*, 2019. augusztus 10. Online: https://hvg.hu/tudomany/20190810_a_vilag_legkisebb_sztentje_erhalo_etz_zurich
- Műszaki Magazin [é. n.]: *Jön a 4D nyomtatás*. Online: www.muszaki-magazin.hu/2017/04/24/jon-a-4d-nyomtatás/
- NÉMETH András – SZABÓ András – BALOG Ferenc (2020): 3D Virtualisation and Visualisation Technologies for Archiving the Results. In HAUSNER, Gábor – NÉMETH, András (szerk.): *Zrínyi-Újvár: A Seventeenth-Century Border Defence System on the Edge of the Ottoman Empire*. Budapest, Ludovika, 225–268.
- NÉMETH András – VIRÁGH Krisztián (2022): Mesterséges intelligencia és haderő – A mesterséges intelligencia területei. III. rész. *Haditechnika*, 56(3), 2–7. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.56.3.01>
- PEREI Dóra (2021): Az alakváltó okosgél hamarosan új, rugalmas robotok és összehajtható kijelzők alapvető összetevője lehet. *Rakéta.hu*, 2021. január 25. Online: <https://raketa.hu/az-alakvalto-okosgel-hamarosan-uj-rugalmas-robotok-es-osszehajthato-kijelzok-alapveto-osszetevoje-lehet>
- RÁKOSI Sára et al. (2023): A 3D-nyomtatás biztonságtechnikai és környezetvédelmi aspektusai. *Műszaki Katonai Közlöny*, 33(1), 133–148. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2023.1.10>
- SANCHEZ, Jesus (2021): *4D nyomtatók: Mik ezek és mit tehetnek?* Online: <https://movilforum.com/hu/impresoras-4d/>
- Self-Assembly Lab (2023a): *3D Knit BioSuit*. Online: <https://selfassemblylab.mit.edu/3d-knit-biosuit>
- Self-Assembly Lab (2023b): *Programmable Materials*. Online: <https://selfassemblylab.mit.edu/programmable-materials>
- Shaoxing Xinshan Tudományos Technológiai Co., Ltd. (2021): *Ismeri a 4D nyomtatási technológiát?* Online: <http://m.hu.xslelamp.com/news/do-you-know-4d-printing-technology-43944044.html>
- SOUZA, Eduardo (2021): *4D Printing? Bridging Additive Manufacturing with Smart Materials*. Online: www.archdaily.com/966556/have-you-heard-of-4d-printing-bridging-additive-manufacturing-with-smart-materials?ad_source=search&ad_medium=projects_tab&ad_source=search&ad_medium=search_result_all
- Tesztarena (2023): *3D nyomtatás, 5. rész – milyen alapanyag?* Online: <https://tesztarena.hu/3d-nyomtatás-5-resz-milyen-alapanyag/>
- TIBBITS, Skylar [é. n.]: 4D Printing: Buildings That Can Change Over Time. *BBC*, [é. n.]. Online: www.bbc.com/future/article/20130709-buildings-that-can-make-themselves
- The Engineer (2021): *Colour Changing Cephalopods Inspire Smart Gel*. Online: www.theengineer.co.uk/content/news/colour-changing-cephalopods-inspire-smart-gel

A mesterséges intelligencia és a 3D nyomtatás együttműködése. [é. n.]. Online: <https://3dmed.szikha.hu/a-mesterseges-intelligencia-es-a-3d-nyomtatasi-egyuttmukodese/>

VÉGVÁRI Zsolt – HEGEDŰS Ernő – ZENTAY Péter (2022): A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei I. rész. *Haditechnika*, 56(6), 56–60. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.56.6.09>

Weborvos (2023): *A gyógyítást segítheti a 4D technika is.* Online: <https://weborvos.hu/lapszemle/a-gyogytast-segitheti-a-4d-technika-is-240391>

Huszár Zsolt,¹ Majorosné Lublós Éva Eszter²

Homlokzati állványtüzek

Facade Scaffolding Fire

Homlokzati állványok építéséről, bontásáról, illetve az állványon történő munkavégzésről általában nem a tüzesetek jutnak eszébe a műszaki szakembereknek. A párizsi Notre-Dame 2019. április 15-i pokoli tüzesete azonban más megvilágításba helyezte az esetleges állványtüzek előfordulásának lehetőségét és azok vizsgálatát. A cikk célja, hogy felhívja a tervezők, kivitelezők és természetesen a beruházók figyelmét, hogy a homlokzati állvány mint építési segédszerkezet – a sok „klasszikus” baleseti forráson túl – milyen veszélyeket rejt magában, nemcsak a rajta dolgozók számára, hanem adott esetben a felállványozott épületben tartózkodó személyekre, illetve magára az épületre is.

Kulcsszavak: homlokzati állvány, tüzesetek, balesetek, vizsgálatok, esettanulmányok, megelőzés

Building, dismantling or working on scaffolding is not usually the kind of work technicians would associate with fires. The inferno at Notre-Dame Cathedral on 15 April 2019 has since shed a different light on the possibility of scaffolding fires and how they are investigated. The purpose of this article is to draw the attention of designers, contractors and, of course, investors to the serious fire risk that scaffolding as a building support structure, in addition to the many "classic" sources of accidents, can pose, not only to those working on it, but also, where appropriate, to those staying inside the scaffolded building and, indeed, to the building itself.

Keywords: scaffolding, fires, accidents, investigations, case studies, prevention

Bevezetés

Számos példa felhívja a figyelmet arra, hogy a homlokzati állványon keletkezett vagy adott esetben az építés alatt álló épület egy szintjén kiütő tűz az állványzaton keresztül a teljes

¹ Egyetemi mestertanár, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, e-mail: huszarzs470@gmail.com

² Egyetemi docens, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, e-mail: lubeva@web.de

épületre kiterjedve hatalmas károkat képes okozni. Ahhoz, hogy az állványzati tüzek keletkezésének okát, azok terjedését elemezhesük, előbb meg kell ismernünk a tüzet generáló és azt terjesztő szerkezetet, magát az állványzatot. Mi is az az állvány? Az Országos Tűzvédelmi Szabályzat 54/2014. (XII.5) BM rendelet értelmezése szerint: „olyan építmény, amelynek tartószerkezete a használati célnak megfelelő állékonysági teljesítményre méretezett, külső térelhatároló falszerkezettel nem rendelkezik, és az építményen bizonyos magasságban rendeltetés elhelyezésére és emberi tartózkodásra szolgáló teret alakítanak ki.”³

Homlokzati állványrendszerek közül a nehézállványzat jellemzően faszerkezetű, nagy teherbírású állvány, ami a mai használatban természetes kövek, nehéz építőelemek beépítésére, ideiglenes tárolására szolgálnak.⁴ Teherbírásuk jellemzően 300 kg/m², de miután egyedi tervezésű állványokról van szó, ennél jóval nagyobb terhek hordására is alkalmas lehet. Jellemző típusa az árbócallványos, ami vázas jellegű, árbócokból és azokhoz szék vagy szék nélkül csatlakozó munkaszintekből álló állványszerkezet. A 18–25 cm középméretű és megfelelő magasságú (10–20 m), sudarasodó hengeres fa árbócokat egymástól 2,5–3,0 méterre helyezik el, a földbe 1,5 méter mélyen leásott gödrökbe. Az árbócfákat emeletsonként andráskereszt merevíti. A székkel gyámoltított árbócallványok esetében az egyes munkaszinteket az árbócok mellé helyezett és azokhoz kapcsolattal kötött oszlopokkal, utóbbiakon végigfutó süveggerendákkal alakítják ki. A süveggerendákon helyezkednek el a falra merőleges irányban a munkaszinteket képező fiókgerendák, vagyis az ászokgerendák és azokon a pallóterítés. Az épülettel összeépített, azaz egy árbócsorból álló megoldás esetén a fiókgerendák a falazatra fekszenek fel. Az épülettől független főállványoknál a fal mellett is oszlopsor helyezkedik el, és rajta a süveggerenda. A főállványok egy- vagy kétmenetesek lehetnek. A menetszélesség 2,2–3,0 méter. Van olyan elrendezés is, amelynél a földszint egymenetes, a magasabb emeletek pedig kétmenetesek.

Az állványzatok másik típusa az elemekből összeállítható főállványos rendszer. A főállvány oszlopai 2x8/12 cm-es, a betétfák és a merevítők 5/12 cm-es, a földpallók pedig 5/20 cm-es szelvényűek. Az elemek csavarkötéssel vannak összekapcsolva.

A mai gyakorlatban ezeket az állványrendszereket jellemzően homlokzatfelújításra használják, a korábban alkalmazott árbócrendszerű szerkezeteket ma már nem alkalmazzák. Faszerkezetű nehézállvány esetén jellemzően az épülettől független, süveggerendás szerkezeteket használnak (1. kép).

³ OTSz.54/2014. (XII.5) BM rendelet 4. § 1.

⁴ SÁROSI 1999.



1. kép: Jellemző kialakítás faállványzatra

Forrás: NAGY 2009

A korszerű nehézállvány anyag ma már természetesen fémszerkezetű, ami jellemzően moduláris rendszerű, nem keretes szerkezetű. Így az állványzat teherbírása a támaszok sűrítésével a raszterrendszeren belül szinte korlátlanul növelhető. A korszerű acél nehézállványok mind alátámasztó állványként, mind pedig homlokzati állványként használhatók. Az oszlopokra 50 cm-es közönként felhegesztett kapcsolótányérok maximum 8 kapcsolódás lehetséges mind átlós, mind vízszintes irányban. A vízszintes keresztartók különböző méretűek. Akár derékszögű, akár hegyesszögű elrendezésű alaprajz is lehetséges. A kapcsolótányérokban adódó moduláris rendszer lehetővé teszi munka-, védő- és térállvány méretű munka-, védő- és térállvány építését (2. kép).



2. kép: Példa egy korszerű fémállványzatra: a würzburgi szennyvíztisztító telep új rothsztótornya

Forrás: Freistehendes Modex Modulgerüst für die Fassadenmontage [é. n.]

A nehézállványzatok mellett megjelennek a normál teherbírású keretes homlokzati állványok⁵ is, amelyen tárolnak néhány anyagot, ami tüzet okozhat.

A keretes homlokzati állvány (3. kép) jellemzően a már szerkezetkész új vagy felújítás alatt álló épület homlokzati munkáinak elkészítését szolgáló segédszerkezet. Használható munkaállványként vagy védőállványként, jellemzően 24 méteres építési magasságig. Ennél magasabb vagy nem a típus kivételű állványokhoz egyedi statikai számítás szükséges. A függőleges keretek jellemzően 2,00 méter rasztermagasságúak, ami az általános munkaállvány-magasság. Kiegészítő elemként léteznek 1,00, illetve 1,50 méteres keretmagasságok is, amivel pontosan lehet igazítani a kívánt végső szintmagasságot. A vízszintes szerkezetet alapvetően kétfajta rendszer alkotja. Az egyik, amikor vízszintesen is megjelenik egy keretszerkezet, és arra kerül rá a járólap, a másik esetben maga a járólap képezi a vízszintes szerkezetet.⁶

Az utóbbi esetben kevesebb elemet építenek be, így gyorsabb az állványzat össze- és szét-szerelése, de korlátozottabb a teherbírása. Anyagát tekintve a korszerű állványok keretszerkezetei tűzi horganyzott acélszerkezetek, míg a járópallók fa, illetve acél kivitelűek.



3. kép: Példa a keretes homlokzati állványra: iskola felújítása a svájci Oltnban
Forrás: *In 60 Jahren vom Kleinbetrieb zur «Nummer Eins»* [é. n.]

A továbbiakban ismertetünk néhány tanulságos állványtüzesetet.

Esettanulmányok

A Notre-Dame-székesegyház tüzesete

2019. április 15-én néhány perccel 19:00 óra előtt lángra kapott Párizs egyik legjelentősebb épületének, a felújítás alatt álló Notre-Dame-székesegyház fából készült tetőszerkezete,

⁵ SZERÉNYI 2019.

⁶ Thyssen Hünnebeck GmbH 1995.

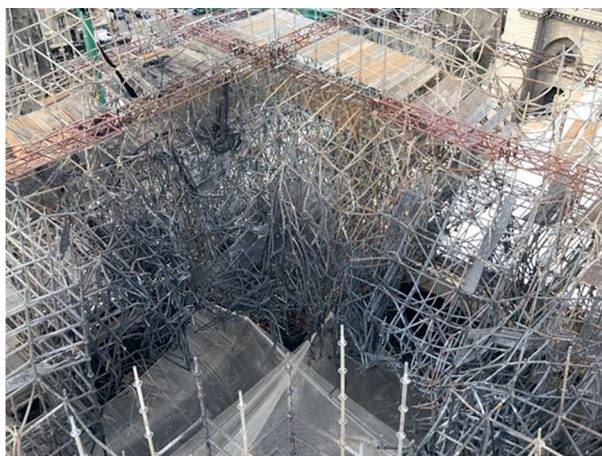
amely néhány óra alatt szinte teljesen megsemmisült, ezenkívül összeomlott a katedrális huszártornya is. A helyszínre közel 500 tűzoltó vonult ki, akik csak éjfélre tudták visszaszorítani a tüzet. Az égő épület környékéről több mint ezer embert kellett evakuálni. A katedrális teljes tetőszerkezete be volt állványozva, valamint a felújítás alatt álló huszártorony is (4. kép).



4. kép: A Notre-Dame-székesegyház állványzatának égése
Forrás: Ma7–MTI 2019

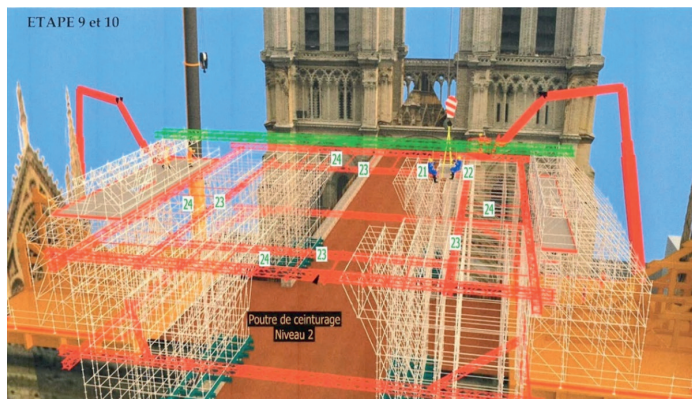
A tűz okának vizsgálata során kiderült, hogy hat elektronikus harangot helyeztek el – amelyet látszólag ideiglenesnek szántak – a toronyba, a kábelek pedig a tetőtérbe futottak össze. Feltételezhető, hogy ezek a kábelek rövidzárlatosak lehettek, és elindították a tüzet. Azt is mérlegelik továbbá, hogy az állványzaton dolgozók véletlenül megsérthették-e a kábeleket.

A tűz kialakulásának másik oka az állványzaton felállított liftekben bekövetkezett rövidzárlat lehet, vagy a munkások által az állványzaton talált cigarettacsikkek. A pótolhatatlan műemlékben keletkezett káron felül az egyik legnehezebb feladat volt a tetőszerkezeten beszakadt nehézállvány-szerkezet visszabontása, amely teljesen összeolvadt a hatalmas tűz és hó hatására (5. kép).



5. kép: A hó hatására tönkrement állványrendszer
Forrás: Ma7–MTI 2019

Az állványzat eltávolításához három szinten acélgerendákat helyeztek el az állványzat körül, hogy azok stabilizáló „övet” képezzenek. Ezután hidraulikus darukat telepítettek, amelyek lehetővé tették, hogy a kötélre függesztett technikusok leereszkedjenek a csövek erdőjébe, és szétvágják azokat, hogy kiemelhetővé váljon az állványszerkezet (6. kép).



6. kép: Az állványzat visszabontását biztosító segéd acélszerkezet
Forrás: Ma7-MTI 2019

Állványtűz Sydney-ben

Az ausztráliai Sydney-ben 2018 júniusában kigyulladt egy középület homlokzati állványa a Legfelsőbb Bíróság épületének szomszédságában, amelyet a homlokzati burkolat cseréjére állítottak fel (7. kép). A feltételezett elektromos szikra okozta tűz az állványzat fóliáját gyújtotta meg, és ez terjedt át az állványzat szerkezetére is. A keletkezett tűz az épület homlokzatában tett kárt, a belső szerkezeti részek kiegészését a gyors tűzoltói beavatkozás megakadályozta.



7. kép: Állványtűz Sydney belvárosában
Forrás: Scaffmag Newsdesk 2018

Hongkongi kórháztűz a bambuszállványzat meggyulladásá miatt

A hongkongi kórházban tűz ütött ki, ezért több mint 400 embert kellett evakuálni a hongkongi Yan Chai Kórház Multi-szolgáltatások Komplexumából (8. kép). A kórházban idősgondozási központ, bölcsőde, rehabilitációs központ és egyéb létesítmények találhatóak. A tűz a vizsgálatok szerint emberi mulasztásból keletkezett a bambuszállványzaton az épület második és harmadik emeletén. A helyi hatóságok szerint személyi sérülés nem történt. Bár önmagában tűzveszélyes, a bambuszállványzatot továbbra is széles körben használják nagy építési projektekben Hongkongban.



8. kép: A hongkongi kórház tüzesete

Forrás: Scaffmag Newsdesk 2018

A hazai kivitelezési gyakorlatban szerencsére nem gyakoriak az állványtüzek, de azért nem elhanyagolhatók. A fővárosban a legutóbbi állványtűz az V. kerületben a Stollár Béla utcában történt, közel a Nyugati térhez. Egy régi fa nehézállványzat gyulladt ki, amely 100–150 méter hosszan lángolt a lakatlan, beállványozott épülettel együtt.

Homlokzati tüzek okainak elemzése

A homlokzati állványtüzek besorolására a következő felosztásokat javasoljuk.

1. A tűz keletkezésének okai alapján, úgymint:

- Elektromos tűz:
 - Az elektromos tüzek megakadályozásának alapfeltétele, hogy az ide vonatkozó szabványban leírtak⁷ (MSZ HD 60364-4-41-415.2 Kiegészítő védelem: kiegészítő védő egyenpotenciálú összekötés) megvalósuljanak. Vagyis: „Az épülő épületekben az építkezés előre haladása során kialakuló nagyterjedésű fémhálózatok egymás

⁷ MSZ HD 60364-4-41-415.2 Kiegészítő védelem.

közötti, illetve a már kialakuló (kialakult) EPH rendszerrel, valamint a védővezetővel való összekötését folyamatosan (az elkészülés után minél hamarabb!) meg kell valósítani."

- Villámcsapásból keletkező tűz (TvMi 12.3:2019.06.12):⁸
 - Fából készült állványzatok esetében a közvetlen villámcsapás hatására fellépő tűz potenciális veszélyt jelent. A legfeljebb 15 méter magas fából készülő állványszerkezetek villámvédelem kialakítása nem szükséges. A 15 méternél magasabb fából készülő állványszerkezetek villámvédelme megfelelő, ha
 - a) a szükséges villámvédelmi intézkedéseket olyan kockázatkezeléssel állapították meg, amelyben az RB kockázati összetevő kisebb, mint az emberi élet elvesztésére vonatkozó, jogszabályban előírt elfogadható mértékű kockázat;
 - b) a kockázatkezelés során a „benntartózkodás időtartama”-ként az állványzat tervezett használati időtartamát veszi figyelembe (beleértve az építés és a bontás időtartamát is);
 - c) a kockázatkezeléssel meghatározott villámvédelmi intézkedéseket az állványzatot érintően alkalmazzák.

Ennek a veszélynek a csökkentésére – amennyiben ez a kockázatkezelés alapján szükséges – alkalmas olyan villámvédelmi rendszer (LPS), amely az állványzatot védi. Ilyenkor tehát a villámvédelmi rendszert (különösen a felfogó- és levezetőrendszert) csak az állványzaton kell kialakítani, a felállványozott építményen nem. Amennyiben az építmény rendelkezik LPS-sel („villámhárítóval”), akkor azt az állványzat védelmére kialakított villámvédelmi rendszerrel össze kell kötni.

- A fém tartószerkezettel készülő állványszerkezetek villámvédelme – az állványzat tervezett használati időtartamától függetlenül – megfelelő, ha
 - a) az állványzat megfelelő földeléssel van ellátva, és
 - b) az állványzat – ha a felállványozott építmény már rendelkezik külső villámvédelmi rendszerrel – a villámvédelmi szabvány követelményeinek megfelelően össze van kötve az építmény villámvédelmi rendszerével.
- Dohányzásból fakadó tűz:
 - Gyakran előforduló tüzeset, annak ellenére, hogy Magyarországon minden építési területen tilos a dohányzás, beleértve a homlokzati állványt is. A tűz terjedése leginkább a ponyvázaton keresztül történik, ami a teljes állványzatot, illetve a mögötte lévő épületet veszélyezteti.
- A felállványozott épületből kiterjedt tűz:
 - Talán a leggyakrabban előforduló állványtűz, ugyanis az épületben keletkező tüzek legjellemzőbb terjedési útja a homlokzat mentén felfele. Ezt tudja erősíteni például, ha nincsenek még beépítve a homlokzati nyílászárók, így a tűz akadálytalanul tud felfelé terjeszkedni.

⁸ Tűzvédelmi Műszaki Irányelv TvMi 12.3:2019.06.12.

- Építési technológiából keletkező tűz:
 - Az ilyen típusú állványon keletkező tüzek talán a legjobban elkerülhető balesetek, ha betartják, illetve betartatják az alapvető munka- és balesetvédelmi szabályokat. Ilyen például, ha hegesztenek az állványzaton, akkor valamiféle tűzoltó berendezésnek kell lennie a munkaszinten, porral oltó készüléknek vagy egyéb oltónak.

2. Az égésben részt vevő anyagok alapján:

- Lehet maga az állványszerkezet, illetve annak ponyvaszerkezete.
 - A mai napig sok nehézállvány szerkezetét fából építik, így azok anyagukat tekintve is potenciális veszélyt jelentenek tűz esetén. A fémszerkezetű állványok esetében a járófelületek, vagyis a járópallók, valamint a lábdeszékák készülhetnek fából, amelyek különösen a fa munkaszintek esetén lehetnek veszélyesek. Tűzterjedés szempontjából természetesen a ponyvázott állványok képezik a legnagyobb veszélyt, mert itt a teljes függőleges homlokzati felület összefüggő tűzbázisként működhet.
- Az állványon tárolt, megmunkálás alatt lévő építőanyagok vagy segédanyagok.
 - Az állványzaton tárolt anyagok tekintetében az egyik leginkább tűzérzékeny technológia, amikor állványszerkezetről készül az épület fedélszéke, különösképp az eresz deszkázata, lécezése. A tűz megelőzésének legjobb módja, hogy az állványzaton mindig csak az aktuálisan beépítendő faanyagot tároljuk, vagyis műszak utánra, éjszakára az állványzaton ne legyen anyagtárolás.

3. A tűzterjedés irányát tekintve:

- horizontális kiterjedésű tűz;
- vertikális kiterjedésű tűz;
- a teljes állványfelületet beborító tűz.

Ezek részletes elemzéséhez azonban ismernünk kell az állványszerkezetek típusait, azok szerkezeti kialakításait, építés-, illetve bontástechnológiájukat, funkciójukat. Ezenfelül az egyes tüzesetek vizsgálatánál ismerni kell az állványszerkezetekről végzett építés technológia folyamatát, valamint az ott használt anyagok, segédanyagok éghetőségi tulajdonságait.

Javaslat a tűzszámítás figyelembevételére

Az állványokon jelentős mennyiségű éghető anyag lehet, részben az állványzat anyaga (fapalló, ponyva), valamint az állványon tárolt építőanyagok. A tűz jellemzően fölefelé tud terjedni, tehát hasonlóan viselkedik, mint a homlokzatok. Az állványzatoknál keletkezett tűz esetében külső tűzhatásgörbét kell alkalmazni, mivel a lángok a szabadba terjednek, és a homlokzati elemeket felmelegítik, esetleg meggyújtják. Megvizsgálva a görbe maximumát, látható, hogy az ISO-görbénél lényegesen kisebb maximummal rendelkezik, mivel a külső levegő által biztosított hűtést figyelembe veszi. A léghőmérséklet a következő képlet szerint számolható (1. ábra).

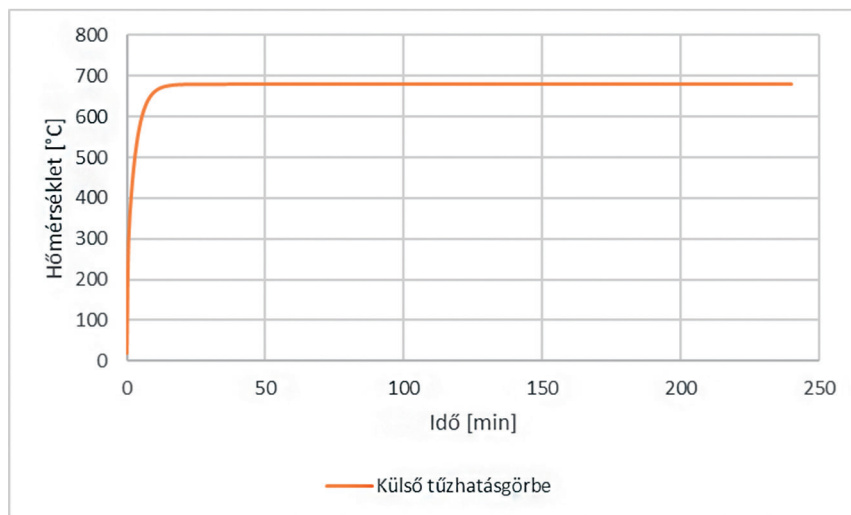
$$\Theta_g = 20 + 660 \times (1 - 0,687 \times e^{-0,32 \times t} - 0,313 \times e^{-3,80 \times t})$$

ahol:

Θ_g : a gázhőmérséklet [°C],

t: az eltelt idő [perc].

A külső tűzhatásgörbét az 1. ábra szemlélteti.⁹



1. ábra: A külső tűzhatásgörbe

Forrás: TvMi 11.2:2019.01.22.

Véleményünk szerint az állványzatoknál is javasolt a tűzterjedés számítása és indokolt esetben az aktív védelmi eszközök alkalmazása, hiszen ha ezek be lennének építve, akkor a fentebb ismertetett példák esetén is jóval kisebb lett volna a bekövetkezett kár, amely a Notre-Dame esetén egy jelentős műemlék épület megővését jelentette volna.

Összefoglalás

A cikk célja az volt, hogy felhívja a figyelmet az építőiparban bekövetkező káresetek olyan, periférián lévő szegmensére, mint a homlokzati állványtüzek. Az építés közbeni tüzesetek nem számítanak ritka építőipari káresetnek, főleg a felújítási munkák körében, de számos új építési beruházás is esett már a tűzkár áldozatául. Ezen belül azonban ritkán esik szó a segédszerkezetek okozta tüzesetekről, mint amilyen a homlokzati állvány, vagy az olyan tüzesetekről, amelyek hordozója vagy továbbterjesztője maga az állványszerkezet és annak ponyvaszerkezete.

⁹ Tűzvédelmi Műszaki Irányelv TvMi 11.2:2019.01.2

A fentiekben számos példa bizonyította az állványtüzek súlyos károkozását az épületekben és persze magában az állványszerkezetben.

Az okokat rangsorolva a legtrikább esetek közt említhetjük a villámcsapás okozta tüzeket, a leggyakoribbak közé pedig az emberi mulasztás okozta tüzeket kell említenünk, mint a dohányzás, földelés hiánya okozta elektromos tűz, vagy akár a gondatlanul tárolt gyúlékony anyagok tüzesete. Az állványtüzek megelőzésének lehetőségei az aktív, illetve passzív védekezés.

Aktív védekezés alatt értjük a fenti fejezetekben említett tüzek keletkezési okainak megelőzését a szigorított munkavédelmi szabályok betartásával, gyakori ellenőrzésével. Passzív védekezés lehetőségeként kerülni kell a gyúlékony szerkezetű állványelemeket, ami alatt általában a faserkezeteket értjük, és természetesen a ponyvaszerkezetekben is javasolt a lánggal nem égő anyagszerkezetű rendszerek használata.

Felhasznált irodalom

Freistehendes Modex Modulgerüst für die Fassadenmontage [é. n.]. Online: www.submission.de/news.php/Freistehendes-Modex-Modulgeruest-fuer-die-Fassadenmontage.html

In 60 Jahren vom Kleinbetrieb zur «Nummer Eins» [é. n.]. Online: www.solothurnerzeitung.ch/soslothurn/lebern-bucheggberg-eins-ld1498422

Ma7–MTI (2019): Pusztító tűz a Notre Dame-ban: sikerült megmenteni az épület szerkezetét a teljes pusztulástól. *Ma7*, 2019. április 15. Online: <https://ma7.sk/kozelet/tuz-utott-ki-a-vilaghuru-pa-rizsi-notre-dame-szekesegyhazban>

Nagy Attila (2009) Ismét állványok mögé bújik az Országház. *Index*, 2009. december 7. Online: https://index.hu/belfold/budapest/2009/12/07/ismet_allvanyok_moge_bujik_az_orszag haz

NAGY Pál (1999): *Építéstechnológia I.* Budapest: Műegyetem Kiadó.

Scaffmag Newsdesk (2018): Scaffolding Catches Fire After It Was Erected to Remove Fire Risk Cladding in Sydney. *Scaffmag.com*, 2018. június 1. Online: <https://scaffmag.com/2018/06/scaffolding-catches-fire-sydney>

SZERÉNYI Attila (2019): *Hagyományos, cső- és keretes állványzatok.* [H. n.]: Szega Books Kft.

Thyssen Hünnebeck GmbH (1995): *Bosta 100 Gerüste. Aufbauanleitung.* Stand Marz.

Jogi források

Tűzvédelmi Műszaki Irányelv TvMi 12.3:2019.06.12. Ellenőrzés, felülvizsgálat és karbantartás
Tűzvédelmi Műszaki Irányelv TvMi 11.2:2019.01.22 Építményszerkezetek tűzvédelmi jellemzői
MSZ HD 60364-4-41-415.2 Kiegészítő védelem: kiegészítő védő egyenpotenciálú összekötés
Országos Tűzvédelmi Szabályzat 54/2014. (XII.5) BM rendelet

Horváth-Kálmán Eszter,¹ Elek Barbara,² Bodnár László,³ Komlai Krisztina⁴

Építési kockázatok és kezelésük nukleáris létesítmények környezetében

Construction Risks and Management in Case of Nuclear Facilities

A világon minden a kockázatról szól, az egyéni döntésektől a globális döntésekig. A kérdés az, hogy egy adott projekt számára ez a kockázat elfogadható, vagy már nem. Az építési projektekre alkalmazott kockázatelemzés bizonyos tekintetben eltér a nukleáris létesítményekre alkalmazott kockázatelemzéstől. A nukleáris létesítmények esetében a kockázat mint olyan elsősorban nukleáris kockázat. Ennek fényében a nukleáris létesítményt érintő beruházások esetében az elvégzendő kockázatelemzést két külön szinten kell elvégezni. Az első szint a hagyományos építési kockázatelemzés, majd második szintként minden kockázati elemet nukleáris kockázati szempontból kell besorolni. A kutatás az építési kockázatok nukleáris kitétségének meghatározására irányult, továbbá ezen kockázatok valós idejű monitoringrendszerrel való csökkentési lehetőségét vizsgálja.

Kulcsszavak: kockázatelemzés, építési kockázat, atomerőművek biztonsága, elfogadható kockázat, valószínűség, geotechnikai monitoringrendszer, valós idejű monitoringrendszer

Everything in the world is about risk, from individual decisions to global manipulations, which is of fundamental importance in a nuclear power plant environment. The question is whether, in a given situation, this risk is acceptable or no longer acceptable. In some respects, the risk analysis applied to construction projects differs from the risk analysis applied to nuclear installations. For nuclear installations, the risk as such is primarily nuclear risk. In view of this, for investments involving a nuclear installation, the risk analysis to be carried out must be carried out at two

¹ Egyetemi docens, Óbudai Egyetem, e-mail: kalman.eszter@ybl.uni-obuda.hu

² Egyetemi docens, Óbudai Egyetem, e-mail: elek.barbara@bgk.uni-obuda.hu

³ Tanársegéd, Nemzeti Közszerológálati Egyetem, e-mail: bodnar.laszlo@uni-nke.hu

⁴ Doktori hallgató, Nemzeti Közszerológálati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola, e-mail: komlai.kriszti@gmail.com

separate levels. The first level is the traditional construction risk analysis, and then as a second level, each risk item should be classified from a nuclear risk point of view. In this paper, we present the nuclear exposure of construction risks and the possibility of mitigating these risks through a real-time monitoring system.

Keywords: *risk analysis, construction risk, nuclear power plant safety, geotechnical monitoring, acceptable risk, probability, geotechnical monitoring system, real-time monitoring.*

Bevezetés

A világon minden a kockázatokról szól az egyes emberek döntéseitől a nagy globális helyzetekig. Mindennek van kockázata. Minden egyes döntésnek vannak pénzügyi, környezeti, szociológiai kockázati elemei. A kérdés az, hogy az adott helyzetben ez a kockázat vállalható, vagy már nem vállalható. A kockázat sokféle lehet, mindig az adott projekt határozza meg a kockázat fajtáját, hogy mire, mire határozzuk meg, továbbá azt, hogy milyen szinteket különítünk el.⁵ Már Karl von Terzaghi is foglalkozott az adott építéskivitelezési projektek által generált kockázatok kérdésével. Mikor és milyen módszerek teszik lehetővé, hogy ezen kockázatok csökkenthetők legyenek. Már az építési helyszín külön kockázati faktor, ahogy a geotechnikai paraméterek meghatározása is. Továbbá az eredmények kiértékelése és a kiértékelés módszerének megválasztása is jelentős kockázattal jár.⁶ Általában a talaj és a víz a két legjelentősebb tényező, amelyek meghatározzák egy adott épület, építmény kockázati szintjeit. A talaj ismerete messze több, mint a talajfizikai állapotok ismerete. A talajok ásványi összetétele, vízzel való interakciója, szemcseszerkezeti specialitásai mind közrejátszanak az adott környezet teherbíró képességének pontos meghatározásában. Minden egyes szerkezetet az építés helyszínének megfelelően szükséges megtervezni és kivitelezni a telephely speciális körülményeinek figyelembevételével.⁷ Bármilyen szerkezetet tervezünk vagy kivitelezünk, annak kapcsolata van a talajjal és a közetkörnyezettel, így a geotechnikai eredetű kockázatok mindenütt jelen vannak. A geotechnikai paraméterek pontossága jelentős kapcsolattal bír a kockázatok alakulásával, amelyet a természetes rézsűk mozgásának vizsgálatával támasztottak alá. A tervező mérnököknek és a kivitelező mérnököknek két céljuk van minden egyes szerkezettel kapcsolatban:

1. minél gazdaságosabb megvalósítás,
2. rövid és hosszú távú biztonság elérése.

A két szempont egyidejű megvalósítása valahol üti egymást, ha valamit gazdaságosan akarunk megtervezni, akkor a biztonság szintje erősen csökkenhet. Míg ha valamit teljes biztonsággal tervezünk meg, akkor a költségek erősen emelkedhetnek. Vannak olyan lehetőségek, amelyek megteremtik a két elvárás között az összhangot, és jelentősen növelhetik a szerkezetek biztonságát. A végeredmény mindig egy iterációs folyamat során születik meg.⁸

⁵ WAN 2019.

⁶ BAECHER-CHRISTIAN 2003.

⁷ BASSETT 2011.

⁸ WAN 2019.

A budapesti 4. számú metróvonal kivitelezését követően összeállított kutatásban elemzés készült a geotechnikai kockázatok és azok csökkentési lehetőségének tárgyában. A kutatás során kapott eredmény rámutat arra, hogy a talaj, talajvíz és összes egyéb geotechnikai, mérnökgeológiai alapadat ismeretének pontossága nagymértékben befolyásolja a kockázati szintet. Pontos összefüggést írtak fel a geotechnikaifeltárás-sűrűség és a geotechnikai eredetű kockázatok között.⁹

A Szilárd Leó által 1942-ben megalkotott első atommáglya óta a nukleáris ipar folyamatosan fejlődik. A fejlődéssel pedig együtt jár a folyamatosan szigorodó szabályozási környezet. Az 1980. évi Nukleáris anyagok fizikai védelméről szóló nemzetközi egyezmény adja meg az atomenergia békés célú hasznosításának kereteit. 2005. július 4–8. között folyó NAÜ (IAEA) által szervezett diplomáciai konferencia keretén belül módosították az egyezményt. A módosítás a terrorizmus elleni harc miatt vált szükségessé. A módosítást minden ország egyhangúlag elfogadta és aláírta Bécsben. Az egyezmény végrehajtását segítve, a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) kiadta a Nukleáris anyagok és nukleáris létesítmények fizikai védelméről szóló (INFCIRC/225/rev.5, 2011) dokumentumot, amely az egyes állami rendszerek szükséges felépítését, a nukleáris anyagok kategóriába sorolását, a használatban lévő, tárolt, illetve szállított nukleáris anyagok védelmi követelményeit, valamint a nukleáris létesítmények szabotázs elleni védelmének követelményeit összegzi.¹⁰

A veszélyes anyagokkal történő munkavégzés, beleértve a radioaktív, sugárzó anyagokat is, jelentős többlet-óvintézkedéseket von maga után az adott erőműben és a teljes telephelyen. Pontos meg kell határozni a biztonságot csökkentő tevékenységeket. Definiálva, hogy melyek veszélyeztetik közvetlenül az emberi életet, és melyek vannak közvetetten hatással rá. Erre ad pontos előírást a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség IAEA-TECDOC-944 számmal kiadott *Guidelines for Integrated Risk Assessment and Management in Large Industrial Areas* címmel, besorolva az egészségkárosító és környezetkárosító veszélyeket. Továbbá e veszélyek kezelésére is ad javaslatokat.¹¹

A kockázatok áttekintése során be kell azonosítani azokat a paramétereket, amelyek nagymértékben befolyásolják az adott létesítmény biztonságát. Továbbá pontosan meg kell határozni, hogy milyen kockázatsökkentő lehetőségek állnak rendelkezésre.¹² Nukleáris erőművek esetében jelentős fontosságú a kockázatok folyamatos elemzése. Kutatásunk célja a nukleáris erőművek építési kockázatainak meghatározása, az építési kockázatok elemzésének bemutatása és az építési kockázat szintjének csökkentési lehetőségeinek bemutatása.

Építési kockázat definiálása

Az építési kockázat szerteágazó. Építési kockázat alatt számtalan kockázati tényezőt értünk a szerkezet állékonyságvesztésétől a projekt kivitelezésének jelentős késedelméig. Sok esetben

⁹ HORVÁTH 2011.

¹⁰ Országos Atomenergia Hivatal [é. n.].

¹¹ International Atomic Energy Agency 1998.

¹² LEROUÉIL 1998; KÁPOLNAINÉ NAGY-GÖDE – TÖRÖK 2022.

a projekt jelentős pénzügyi kockázatát is ide kell sorolni.¹³ 1984-ben R. V. Whitman megteremtette az alapját a geotechnikai eredetű építési kockázatok besorolásának. Az évek alatt az elmélet már kilépett a tisztán geotechnikai eredetű kockázatok kezelésének zárt köréből, és kibővítették különböző egyéb kockázati faktorokkal.¹⁴ 2020-ban J.-L. Briaud három előre definiált határvonalat húzott fel, amely egyértelműsíti az egyes események bekövetkezéséhez tartozó várható halálozási és anyagi veszteségeinek értékét is.¹⁵ A geotechnikai eredetű kockázatok végső soron a szerkezetek tönkremeneteléhez vezetnek. A szerkezetek tönkremenetelének okait meg lehet határozni és bekövetkezésének valószínűségét matematikailag számszerűsített értékkel ellátni, ahogy van mód a kockázatok okainak kategorizálására is.¹⁶ Nemcsak a szerkezetek kockázatairól beszélhetünk, hanem külön kockázata van minden egyes projektnek is. A projekt szempontjából is figyelembe kell vennünk az építési kockázatokat.¹⁷



1. ábra: Az építési kockázat összetettsége

Forrás: a szerzők szerkesztése

Az építési kockázat szerteágazó fogalom, ahogy az 1. ábra is mutatja, magában foglalja az adott építmény projektszintű kockázatait:

1. Tervezési kockázat: a terv megfelelőségének kockázata.
2. Politikai kockázat: a nagy- és gigaberuházások nemzeti és nemzetközi szintű befolyásolása.
3. Pénzügyi kockázat: a projekt finanszírozásának folyamatosságát biztosító megrendelői háttér finansciális biztonsága, továbbá a projekt költségvetésének tarthatósága.
4. Környezeti kockázat: a telephely és annak közvetlen környezetével kapcsolatos földtani, geológiai, meteorológiai vagy egyéb tényezőből eredő kockázatok.
5. Vezetői kockázat: a projekt vezetőinek döntéseiben rejlő kockázat.

¹³ FABER 2008.

¹⁴ WHITMAN 1984.

¹⁵ BRIAUD 2022.

¹⁶ SEBESTYÉN-TÓTH 2014.

¹⁷ KÖHLER 2009.

6. Kivitelezési kockázat: az építési fázisok során történő „elépítési” kockázat, nem megfelelőség.
7. Fizikai kockázat: esetleges előre kitervelt terror/erőszakos cselekmény vagy véletlenszerű esemény, amelynek következtében a projekt szerkezetileg sérül, építésére szánt idő növekszik, építési költsége emelkedik.
8. Logisztikai kockázat: a projekt megvalósításához szükséges teljes alapanyag és/vagy eszközpark beszerzésében és alkalmazásában bekövetkező negatív körülmény vagy akadály.

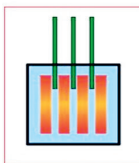
Az építési kockázatok meghatározása és további kezelése már a projekt megindításánál, tervezési fázisban jelentős feladatként definiálható. Az építési kockázatok minden esetben projektspecifikusak. Egyedi eljárásrendet kell követni.

Nukleáris erőművek biztonsága

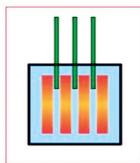
A nukleáris erőművek biztonságán elsődlegesen a nukleáris biztonságot kell érteni. A Tervezési Alapot meghaladó, azaz TAK (Tervezési Alap Kiterjesztése) üzemállapotban bekövetkező nem várt kezdeti események esetében a biztonságot több egymástól elkülönülő módszer garantálja. 3 fő biztonsági funkciót különböztetünk meg, mindhárom biztonsági funkciónak egymagában is képesnek kell lennie biztosítani az erőmű és környezetének biztonságát. Mindhárom fő biztonsági funkció, amelyeket a 2. ábra mutat be, a TAK 1 és TAK 2 üzemállapothoz, azaz a nukleáris energiatermelés üzemzavarához tartozó üzemállapotokhoz tartozó kockázatok csökkentését hivatottak garantálni.

A három biztonsági funkció:

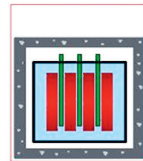
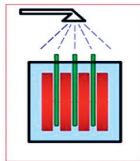
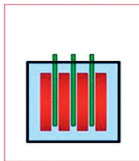
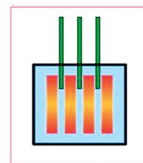
1. **Láncreakció szabályozása és lezárása**



2. **Hűtés normál üzemben és üzemzavar alatt**



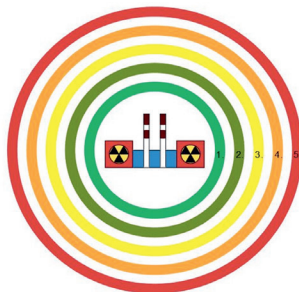
3. **Radioaktív anyagok benntartása**



2. ábra: Nukleáris létesítmények biztonsági funkciói

Forrás: KÁROLYI 2023

A 3. biztonsági funkció lényege a radioaktív anyagok benntartása, amelynek részét képezi a mérnöki gátak sorozata. A legkülső mérnöki gát maga a konténment.¹⁸ Ezen felül pedig meg kell különböztetni a *biztonsági rendszert*. A nukleáris létesítmények biztonság szempontjából fontos rendszerei közül azokat soroljuk a biztonsági rendszer közé, amelyeket részben vagy kizárólag biztonsági funkciók teljesítése céljából terveztek és építettek be. Minden esetben csak egy kezdeti nemkívánatos eseményt követően válnak szükségessé. Az alkalmazásuk és céljuk a biztonság fenntartása, helyreállítása, valamint a nemkívánatos folyamatok következményeinek enyhítése. A biztonsági protokoll további eleme a *mélységi védelem*, amelynek öt szintjét különböztetjük meg, ezt láthatjuk a 3. ábrán.



3. ábra: Mélységi védelem

Forrás: KÁROLYI 2023

1. Konzervatív tervezés, magas színvonalú kivitelezés és üzemeltetés; a rendellenes működés és a hibák megelőzése.
2. Megfelelő szabályozás, üzemi korlátok és az azok átlépésének megelőzése; a rendellenes működés helyes kezelése és a hibák észlelése.
3. Az automatikus biztonsági rendszerek indulása és a szükséges emberi beavatkozások; a hihető méretezési balesetek kezelése.
4. Kiegészítő mérések és intézkedések; a súlyos balesetek kezelése, a következmények enyhítése és a súlyosság mérséklése.
5. Baleset-elhárítási intézkedési terv; a létesítményen kívülre történő radioaktív kibocsátás következményeinek enyhítése.¹⁹

A nukleáris kockázat egyet jelent a környezet teljes körű védelmével. Nem juthat ki radioaktív anyag a környezetbe, amely esetleg veszélyeztetné a környezetet vagy a környező emberek életét.²⁰

J. Köhler *Risk and Safety in Engineering* című könyvében részletesen ír az építményeket érő hatások kockázatairól, a kockázatok bekövetkezési valószínűségéről. Külön részfejezetet szentelve az atomerőművek kockázatainak – mint kiemelt építmény kiemelt kockázatokkal.

¹⁸ KÁROLYI 2023; RAUL 2017.

¹⁹ KÁROLYI 2023.

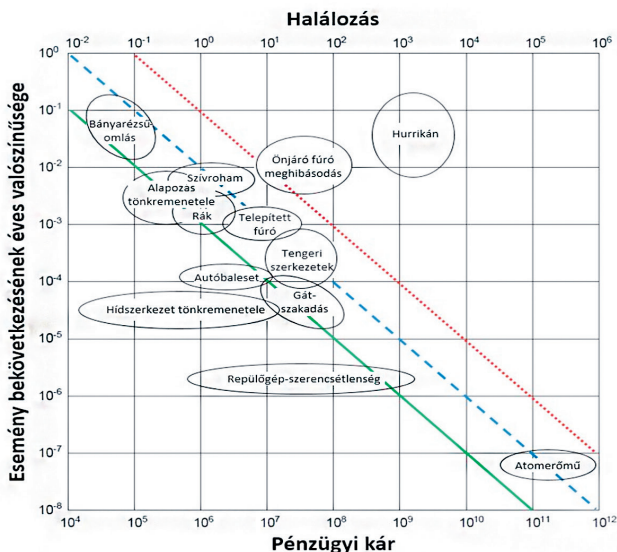
²⁰ International Atomic Energy Agency 2005.

Konklúzióként kimondja, hogy az atomerőművek meghibásodása a rendszereket alkotó alkatrészek és rendszerek egy vagy több meghibásodása miatt következhet be, ezáltal az erőművek általában biztonságosabbá válnak.²¹

Az atomerőművek kritikus rendszere a reaktor hűtését biztosító rendszer és azok szabályozó szelei, amelyek meghibásodása a reaktor hűtésének elvesztéséhez vezethet, ami viszont súlyos következményekkel járhat, például a reaktor károsodásával és esetleges zónaolvadással. Az 5. ábra áttekintést ad a szelek meghibásodásának eloszlásáról egy működő atomerőmű különböző alrendszereiben. Látható, hogy a legtöbb meghibásodás a csővezeték- és műszer-rendszerekben következik be. További vizsgálatok kimutatták, hogy a fizikai és emberi okok egyaránt fontosak. A szivárgások és a természet okozta meghibásodások a fő fizikai okok, míg az emberi hibák a nem megfelelő karbantartás és az erőmű tervezési hibáiból adódnak.

A nukleáris erőművek esetében megkülönböztetünk külső és belső veszélyeket. A külső veszélyek azok, amelyek nem a nukleáris technológiából fakadnak, hanem egyéb külső hatásból. Lehetnek természeti katasztrófákból eredő veszélyek, továbbá emberi tevékenységből eredő veszélyek, illetve ide tartoznak az építési kockázatok is.

A nukleáris erőművek esetében a nagy vagy korai kibocsátás esetében 10^{-6} /év előfordulási gyakorisági kritériumnak kell teljesülnie, és biztosítani kell a maradványhő végső hőelnyelőbe szállítását. Ennek elvesztése gyakorisága nem lehet nagyobb, mint 10^{-7} /év. Azaz a *súlyos baleseti üzemi állapot*, amely környezeti szennyezéshez, katasztrófához vezethet, kockázatának éves gyakorisága nem haladhatja meg a 10^{-7} /év értéket. Egy ilyen szintű kockázathoz jelentős mértékű halálozási kockázat és anyagi kockázat is tartozik. A nukleáris erőművek súlyos baleseti üzemi állapotát helyeztük a bekövetkezési valószínűség, halálozás és pénzügyi kockázat halójába.



4. ábra: Nukleáris erőművek súlyos baleseti üzemi állapotának kockázata és a hozzá tartozó pénzügyi és halálozási kockázat

Forrás: a szerzők szerkesztése

²¹ KÖHLER 2009.

A 4. számú ábrán látható a nukleáris erőművek súlyos baleseti üzemállapotához tartozó bekövetkezési valószínűség és a belőle fakadó halálozási és költségvonzat arány. A halálozási arányt a szakirodalomban fellelhető adatok és a jelenlegi demográfiai viszonyok statisztikai elemzése alapján határoztuk meg. A káresemény költségeinek kalkulációját a szakirodalomban fellelhető információk, továbbá az éves termelés kalkulációs adatok alapján számoltuk ki. Leolvasható a 4. ábráról, hogy az atomerőművek súlyos baleseti üzemállapothoz tartozó kockázata igen kicsi, viszont a hozzá tartozó közvetlen vagy közvetett halálozási arány az 1 millió főt is megközelítheti, továbbá a termelés kiesése, károsodás anyagi oldala is dollármilliárdokban mérhető.

Geotechnikai és épületmozgás monitoringrendszer mint a környezet őre

A monitoringrendszer kiválasztása során nélkülözhetetlen megállapítani, hogy pontosan mi a mérés célja, a mérés eredményéből milyen következtetéseket kívánunk a feldolgozás során levonni, pontosan mit kívánunk mérni vele. A mérnöki gyakorlatban három nagy csoportra tudjuk osztani a mérhető elemeket:

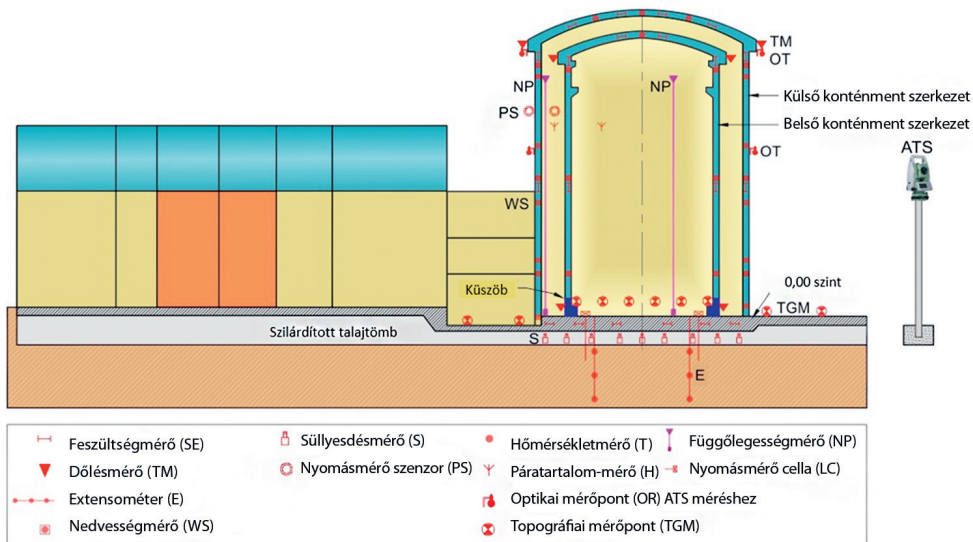
- Mozgásmérések: süllyedésmérés; billenésmérés; csavarodásmérés; alakváltozás-mérés.
- Feszültségmérések: földnyomásmérés; pórusvíznyomás-mérés.
- Időbeni változása minden fent felsorolt mérési eredménynek.

A pontosan megfogalmazott mérési cél meghatározza az épületmozgás és geotechnikai monitoringrendszer során alkalmazandó mérőműszerek fajtáját is. A mérés céljának pontos meghatározását követően szükséges összeállítani a monitoringrendszer műszereivel szemben támasztott követelményeket, azok prioritását. A műszerekkel szemben támasztott követelmények az alábbiak.

- Megbízhatóság: minden esetben pontosan meg kell határozni a műszer által mért adatok pontosság- és felbontóképesség-igényét, továbbá a szabotosságát és a deviációját.
- Mérési eredmények valós idejű feldolgozása: a mért eredmények feldolgozási gyorsasága nukleáris létesítmények környezetében megköveteli a valós idejű feldolgozást. Azaz a mérés pillanatában láthatóvá válik a mért eredmény, késlekedés nélkül kapunk képet a vizsgált építmény helyzetéről, állapotáról.
- Műszer mérési élettartama: a műszerek kiválasztása során figyelembe kell venni a műszer időtállóságának kritériumait, hogy milyen környezetben kell elhelyezni. Kültéri vagy beltéri elhelyezésre van szükség? A felszín alatt elhelyezendő műszer esetében talajvíz alatt vagy felett kell hogy mérjen? Továbbá, hogy a talajvíz vagy a talaj agresszivitása milyen fokú.
- Adatkezelés módja: az adatok gyűjtése és azok továbbítása a meghatározott szerverre/tárolóhelyre meghatározza a monitoringrendszer adatkezelés-kiépítésének szintjét.

Épületmozgás és geotechnikai monitoringrendszer elemei

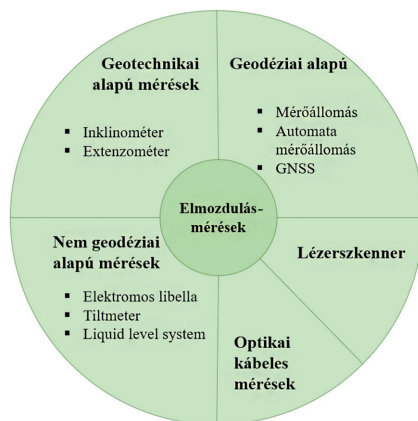
Mint ahogy minden egyes építési beruházás során, így a nukleáris létesítmények esetében is vannak speciálisan mérendő, ellenőrizendő pontok, szerkezeti elemek. Az 5. ábrán láthatók azon javasolt eszközök és mérési pontok, amelyek egy atomerőmű biztonságos, hosszú távú üzemeltetése során szükségesek. Adatokat tudnak szolgáltatni a szerkezeti elemek, beépített anyagok állapotáról, üzemeltetés során bekövetkezett állapotváltozásokról. Ezen javasolt mérőeszközök túlmutatnak a jelenlegi kutatási témán, amely az építési kockázatok csökkentésének lehetősége valós idejű épületmozgás és geotechnikai monitoringrendszer alkalmazásával.



5. ábra: Atomerőművek monitoringrendszerének vázlatterve

Forrás: Encardio-Rite, Application Note-Online Monitoring of Nuclear Power Plant [é. n.]

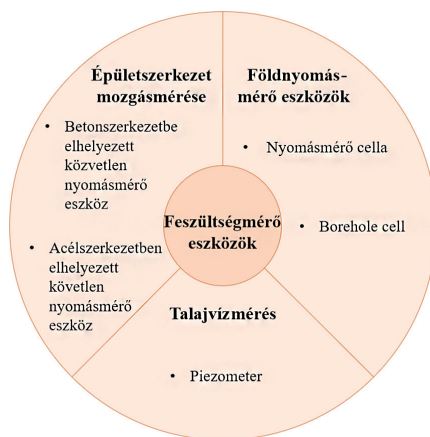
A teljes monitoringrendszer elemei közül azokat emeljük ki és tárgyaljuk a továbbiakban, amelyek elősegítik a biztonságos építési beruházásokat, kivitelezési munkákat az atomerőművek és egyéb nukleáris létesítmények közvetlen környezetében. Ahogy azt már az előző fejezetben összefoglaltuk, a mozgásnak több fajtáját lehet speciális műszerekkel mérni. Továbbá a talajszerkezet-kölcsönhatás nyomon követése érdekében regisztrálni kell a feszültségeket, feszültségváltozásokat, továbbá elmozdulásokat. Több monitoring mérési rendszert különböztethetünk meg elmozdulások és alakváltozások mérésére, amelyeket kombinálva érdemes alkalmazni minden egyes monitoringrendszer kiépítése során. Ezen elmozdulási monitoringrendszereket foglalja össze a 6. ábra.



6. ábra: Elmozdulások és alakváltozások mérésére alkalmazható monitoringrendszerek

Forrás: a szerzők szerkesztése

Az alakváltozások és elmozdulások mellett a másik nagy mérendő terület a feszültség nyomon követése (7. ábra).



7. ábra: Feszültségmérésre alkalmazható monitoringeszközök

Forrás: a szerzők szerkesztése

A talajszerkezet interakciójának folyamatos elemzése céljából érdemes már a tervezés, kivitelezés időszakában elhelyezni az új kivitelezés alatt álló építmények esetében a feszültségek közvetlen mérését szolgáló monitoringelemeket.²² Ezen szerkezeti feszültségmérők már meglévő szerkezetekre is elhelyezhetők, így nyomon követhető a meglévő szerkezetre

²² ÉRCES-AMBRUSZ 2022.

gyakorolt feszültségnövekmény hatása. Azaz meglévő szerkezetek esetében közvetett módon tudunk feszültséget meghatározni. A betonszerkezetek vizsgálati szakaszán elhelyezett feszültségmérő eszköz képes két fix pont között kialakuló elmozdulásokból, szerkezetre ható feszültségértékeket meghatározni. Acélszerkezetek esetében hegesztéssel vagy ragasztással rögzíthető mérőeszközök alkalmazása lehetséges. Ahogy a betonszerkezetek esetében, úgy az acélszerkezeteknél is elmozdulásmérésekből közvetetten lehet feszültségértékeket meghatározni. Mindkét esetben meghatározható, programozható a mérések gyakorisága. Valós idejű mérési eredmények határozhatók meg az eszközökkel.²³

Adatok kezelése, alkalmazása és riasztás

Egyes mérőeszközök egységes kezelése nélkülözhetetlen a valós idejű monitoringrendszer összeállításához. Minden egyes mérőeszköz mérési eredményét egy felületen, egységes lépésekben és rendszerben kell összeállítani, hogy a kapott mérési eredmények kiértékelése során biztonságos, megalapozott döntést lehessen hozni.

A mérőműszerek által mért adatokat továbbítani kell egy központi datalogger felé, amely összegyűjti az összes eredményt, és továbbítja a központi védett szerverre, az eredmények itt tárolódnak, és a kiértékelés, megjelenítés szinkronizáltan létrejön.

A nemzetközi gyakorlat azt mutatja, hogy a beruházás során három, egymástól független védett szerveren történik meg a monitoringrendszer által mért adatok tárolása. A három védett szerver egyike a beruházó tulajdona, a másik a kivitelező tulajdona, a harmadik pedig a független üzemeltető tulajdona, aki a monitoringrendszert üzemelteti. A szervereken a tárolt adatokat csak egyidejű engedélyezési jelszó megadása mellett lehet módosítani, esetleges adatokat törölni. Ebben az esetben elkerülhető, hogy nem kívánt módosítás történjen a mérési eredményekben.

A monitoringrendszer tervezése során nélkülözhetetlen az adott építmény minden egyes mérési pontjára meghatározni azon kritériumszinteket, amelyek mérföldkőként szolgálnak a monitoringrendszer üzemeltetése során. Egy meglévő létesítmény esetén fontosnak tartjuk megjegyezni, hogy a „0” állapot felvétele számít a kritikus tevékenységnek. Ezért jelentős idejű, legalább fél éves tesztüzem, azaz „0” állapot felvétel szükséges a tényleges kivitelezési munkák megkezdése előtt. A hőmérséklet és talajvíz kompenzációs szintek meghatározása érdekében 1 teljes év szükséges, mint „0” állapot felvétel. A megfelelően alapos „0” állapot meghatározása és a hozzá tartozó hőmérséklet- és talajvíz-ciklikussági görbék meghatározása mellett minimálisra lehet csökkenteni a téves riasztások szintjét.

A monitoringrendszer működtetésének szükséges feltételei:

- Az eredmények megjelenítése egy a vizsgálat létesítményhez elkészített geoinformatikai rendszeren kell hogy megtörténjen.
- A minden egyes mérési típus és pont esetében fel kell tüntetni a meghatározott riasztási szinteket.

²³ ÉRCES et al. 2023.

- A riasztási szintek elérése esetén a geoinformatikai rendszer automatikus riasztást kell hogy kiadjon az érintett szakemberek felé mobiltelefonon és e-mailben egyaránt.
- A tervezett monitoringrendszer alkalmazott elemeit úgy kell meghatározni, hogy azok mérési eredményei egy geoinformatikai rendszerben kezelhetők legyenek.

Összegzés

A mai világban, ahol energiaválság kezd kialakulni, az atomerőművek egy részét valahol leállítják, máshol újakat építenek, vagy éppen fejlesztenek, átalakítanak, esetleg üzemidő-hosszabbítást kezdeményeznek, elengedhetetlen a pontos kockázatelemzés a biztonságos üzemeltetés biztosításához. Új erőművek épülnek, amelyeket gyakran a meglévő, de már az üzemideje végén járó erőművek közvetlen környezetében alakítanak ki. Az új erőművi blokkok megépítése eddig nem látott mértékben növeli meg az üzemelő erőmű biztonságos üzemeltetésének kockázatát. A kockázatelemzés célja pontosan meghatározni minden olyan munkafázist, amely bármilyen szinten is befolyásolhatja a védendő erőmű működését. A kockázatelemzés részét kell hogy képezze a segédtechnológiák, javaslatok és egyéb eszközök pontos leírása, amelyeket a kockázatcsökkentés során alkalmazhatnak. Nukleáris erőművek esetében nem lehet cél a gazdaságosság, ott egyetlen lehetőség van, ami nem más, mint a maximális biztonság. Ennek elérése akkor is nélkülözhetetlen, ha egy másik építési projekt érintettjévé válik a működő atomerőmű. Példa erre, ha a működő atomerőművi blokkok szomszédságában történik az új blokkok kivitelezése. Így csökkenthető minimálisra az atomerőművekre ható kockázatok szintje. Nukleáris létesítmények esetében a biztonság mindenképp feletti, nem megkérdőjelezhető. Esetenként az építési kockázatok okozhatnak olyan előre nem számolt, váratlan helyzeteket, amelyek bizonyos mértékben csökkenthetik az adott nukleáris létesítmény nukleáris biztonságát.

A kutatás során célul tűztük ki, hogy meghatározzuk azon építési kockázatokat, amelyek kockázatot jelenthetnek egy működő atomerőmű környezetében. A kockázatos építési tevékenységeket kockázatelemzéssel vizsgáltuk. A kockázatelemzés során meghatároztuk a lehetséges kockázatcsökkentési lehetőségeket.

Jelenlegi kutatásunk során az épületmozgás és geotechnikai monitoringrendszer kockázatcsökkentő hatását vizsgáltuk, amelynek eredményeképpen megfogalmaztuk, hogy az építési kockázat nukleáris kockázattá fejlődése elkerülésének érdekében a nukleáris létesítmények teljes területén minden egyes beavatkozás, építési tevékenység esetén szükséges a folyamatos monitoringtevékenység. Értve ez alatt a kivitelezési munkák során alkalmazandó valós idejű geotechnikai és épületmozgás monitoringrendszer elemeit is. Minden esetben figyelni kell rá, hogy a monitoringrendszerhez kiválasztott elemei kiegészítsék egymást, továbbá hogy azok mérési eredményei egy geoinformatikai rendszerben kezelhetők legyenek. A mérési eredmények mindegyike egység riasztási rendszerbe kell hogy beépüljön. A monitoringterv részeként elkészítendő a riasztási szintekhez tartozó intézkedési terv. Azon kockázati elemek, amelyek esetében a kockázatcsökkentések végrehajtását követően is közepes és magas kockázati szint határozható meg, javasolt kiegészítő biztonsági intézkedési terv, beavatkozási

javaslat kidolgozása már a monitoringtervezés szintjén. Ennek oka, hogy bizonyos esetekben a kiegészítő biztonsági tevékenységek igényelhetnek többlet mérőeszköz-kiépítést, amelyeket be kell tudni építeni a tervezett monitoringrendszerbe.

Az épületmozgások minden esetben időben eltolva követik a talajtömegben jelentkező mozgásokat, ezért a biztonság fokozása érdekében az épületmozgási méréseket ki kell egészíteni geotechnikai monitoringrendszer-elemekkel. Minden egyes tervezett monitoringrendszernek illeszkednie kell vagy be kell tudni fogadnia a jelenleg működő épületmozgás-mérés elemeit, amennyiben van ilyen a mérési területen. A meglévő mérési pontokat meg kell tartani, be kell építeni a jövőben működő rendszerbe. Egy megfelelően kiépített valós idejű monitoringrendszer alkalmazásával jelentősen, szinte nullára csökkenthető az építési kockázatok valószínűsége nukleáris létesítmények környezetében.

Felhasznált irodalom

- BAECHER, Gregory – CHRISTIAN, John (2003): *Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering*. [H. n.]: John Wiley & Sons Ltd.
- BASSETT, Richard (2011): *A Guide to Field Instrumentation in Geotechnics. Principles, Installation and Reading*. London: CRC Press. Online: <https://doi.org/10.1201/b15432>
- BRIAUD, Jean Louis (2022) : Failure has Consequences. *Geostrata Magazine*, 24(1), 18–20. Online: <https://doi.org/10.1061/geosek.0000047>
- Encardio-Rite, Application Note-Online Monitoring of Nuclear Power Plant* [é. n.]. Online: www.encardio.com/nuclear-power-plant
- ÉRCES Gergő – AMBRUSZ József (2022): Természeti csapásoknak ellenálló épületek. *Polgári Védelmi Szemle*, 14(ksz.), 116–131.
- ÉRCES, Gergő et al. (2023): Robustness of the Fire Safety Network in Buildings. In BODNÁR, László – HEIZLER, György (szerk.): *3rd Fire Engineering & Disaster Management Prerecorded International Scientific Conference: Book of Extended Abstracts*. Budapest: Ludovika University of Public Service, 68–72.
- FABER, Havbro (2008): Risk and Safety. In *Civil, Environmental And Geomatic Engineering, Lecture notes, Swiss Federal Institute of Technology*. ETH Zurich.
- HORVÁTH, Tamás (2011): Geotechnical Investigation and Risk Assessment at Budapest Metro Line 4. In *1st International Congress on Tunnels and Underground Structures in South – East Europe „Using Underground Space” Croatia*. [H. n.]: [k. n.].
- International Atomic Energy Agency (1998): *Guidelines for Integrated Risk Assessment and Management In Large Industrial Areas, Inter-Agency programme on the Assessment and Management of Health and Environmental Risks from Energy and Other Complex Industrial Systems (IAEA-TECDOC-994)*. [H. n.]: [k. n.].
- International Atomic Energy Agency (2005): *Assessment of Defence in Depth for Nuclear Power Plants*. Safety Reports Series No. 46. Vienna: IAEA.
- KÁPOLNAINÉ NAGY-GÖDE Fruzsina – TÖRÖK Ákos (2022): Types of Landslides along Lake Balaton Hungary. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 66(2), 411–420. Online: <https://doi.org/10.3311/PPci.18615>
- KÁROLYI György (2023): *A nukleáris biztonsági követelmények építészeti és építőmérnöki vonatkozásai*. Budapest: BME, Web lecture.
- KÖHLER, Jochen (2009): *Risk and Safety in Engineering*. Web lectures, Swiss Federal Institute of Technology, ETH Zurich.

- LEROUEIL, Serge – LOCAT, Jacques (1998): Slope Movements – Geotechnical Characterization, Risk Assessment and Mitigation. In *Proceedings of the Sixth Danube- European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Porec, Croatia, 1998. május 25–29. 95–106. Online: <https://doi.org/10.1201/9781003078173-6>
- Országos Atomenergia Hivatal [é. n.]: *Nukleáris létesítmények, nukleáris és más radioaktív anyagok, ionizáló sugárzást létrehozó berendezések védetség felügyelete*. Online: www.haea.gov.hu/web/v3/oahportal.nsf/web?openagent&menu=02&submenu=2_3
- RAUL, Rebek (2017): Iron-Chrome-Aluminum Alloy Cladding for Increasing Safety in Nuclear Power Plants. *EPJ Nuclear Sciences Technologies*, 3(34). Online: <https://doi.org/10.1051/epjn/2017029>
- SEBESTYÉN Zoltán – TÓTH Tamás (2014): A Revised Interpretation of Risk in Project Management. *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*, 22(2), 119–128. Online: <https://doi.org/10.3311/PPso.7740>
- WAN, Wilfred (2019): *Nuclear Risk Reduction: A Framework for Analysis*. Geneva: UNIDIR. Online: <https://doi.org/10.37559/WMD/19/NRR01>
- WHITMAN, Robert (1984): Evaluating Calculated Risk in Geotechnical Engineering. *Journal of Geotechnical Engineering*, 110(2), 145–188. Online: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1984\)110:2\(143\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1984)110:2(143))

Flóra Hajdú,¹  Péter Mika,²  Péter Szalai,³  Rajmund Kuti⁴ 

Road Profile Modelling Based on Measurement for Fire Truck Simulation

The unevenness of the road reduces the life of the vehicle's suspensions, and the resulting harmful vibrations can also lead to the failure of other structures. In case of special superstructures like fire trucks, valuable firefighting equipment can also be damaged. Since there is little available literature dealing with the vibrations generated during the use of firefighting vehicles, in this research work a real road profile based on data from geodetic measurements was generated for numerical simulation. The suspension of the vehicle taking into account the parameters of a heavy-duty firefighting vehicle was also modelled, and then the effects of road failures using computer simulation were investigated. The road profile was implemented in the simulations with spline polynomials and the fire truck was simulated as a full vehicle model. The aim of the research is to compare the achieved simulation results with data from other vehicle research studies, thereby achieving more accurate results that can also be applied in practice, contributing to vehicle design and safe operation.

Keywords: road profile generation, road profile measurement, fire truck, numerical simulation, vibration

Introduction

An important aspect of the vibration simulation of vehicle suspensions is the modelling of the road as an excitation signal. Vibrations caused by road failures can damage the vehicle and

¹ Assistant Professor, Széchenyi István University, Faculty of Mechanical Engineering, Informatics and Electrical Engineering, Department of Machine Design, e-mail: hajdf@sze.hu

² Assistant Lecturer, Széchenyi István University, Faculty of Mechanical Engineering, Informatics and Electrical Engineering, Department of Machine Design, e-mail: mika.peter@sze.hu

³ Master Lecturer, Széchenyi István University, Faculty of Mechanical Engineering, Informatics and Electrical Engineering, Department of Machine Design, e-mail: szalai@sze.hu

⁴ Full Professor, Széchenyi István University, Faculty of Mechanical Engineering, Informatics and Electrical Engineering, Department of Automation and Mechatronics, e-mail: kuti.rajmund@sze.hu

the passengers and have safety-related issues.⁵ They impair the controllability of vehicles,⁶ reduce travel comfort⁷ and can be the main causes of fatigue of individual components,⁸ and can even cause immediate suspension failure or component breakage.⁹ The road profile has effects on fuel consumption, tire wear, maintenance cost and vehicle delay costs.¹⁰ Most of the harmful vibrations in vehicles occur while driving, and the road itself is the triggering factor.

The examination of various vibrations on vehicles was mostly carried out in case of passenger cars,¹¹ or different trucks,¹² and there are only some examples of fire trucks.¹³ Therefore, a heavy-duty firefighting vehicle was chosen in our study, because its structural elements differ from other vehicles, and harmful vibrations can damage valuable firefighting equipment. The goal is to achieve results that can be used as a basis point for further research and field measurements.

This paper presents the numerical examination of a heavy-duty fire truck with a random excitation signal based on road profile measurements. First, a short theoretical overview of random road profiles is presented which is followed by road profile measurements. Then, the fire truck model is discussed followed by the simulation results. The simulation results were compared to the literature and field measurements.

Road profile modelling

In case of vehicle simulations, mostly theoretical or standardised road profiles are used.¹⁴ The basis of road profile modelling is the ISO 8068 standard.¹⁵ The standard takes the power spectral density (PSD) of the road profile into account. The road profile is calculated with the following equations.¹⁶

$$\Phi(\Omega) = \Phi(\Omega_0) \left(\frac{\Omega}{\Omega_0} \right)^{-w} \quad (1)$$

$$\Phi(n) = \Phi(n_0) \left(\frac{n}{n_0} \right)^{-w} \quad (2)$$

where

$$\bullet \quad \Omega = \frac{2\pi}{L} \left[\frac{rad}{m} \right] \text{ angular spatial frequency}$$

⁵ GEBRESENBET et al. 2011: 10–19.

⁶ GILLESPIE–SAYERS 1981.

⁷ LAKUŠIĆ et al. 2011: 485–494.

⁸ BOGSJÖ–RYCHLIK 2009: 391–402.

⁹ MATSIKA 2001.

¹⁰ YOUSEFZADEH et al. 2010: 743–754.

¹¹ BURDZIK–KONIECZNY 2014: 83–90; LITAK et al. 2008: 1373–1383.

¹² FAHAD et al. 2022: 66–71; ŞENDUR et al. 2013; ZHAO et al. 2016: 1–9.

¹³ KOVTUN et al. 2018; KOVTUN et al. 2019: 495–500.

¹⁴ MÚČKA 2018; ZEIDI et al. 2017: 285–295.

¹⁵ ISO 8608:2016.

¹⁶ TYAN et al. 2009: 151–156.

- L wavelength
- $\Phi_0 = \Phi(\Omega_0) \left[\frac{m^2}{rad/m} \right]$ values of the PSD at reference wave number $\Omega_0 = 1 \frac{rad}{m}$
- $n = \frac{\Omega}{2\pi}$ spatial frequency, $n_0 = 0.1 \frac{cycle}{m}$
- w waviness, for most of the road surface $w = 2$

There are several approaches to generate random road profiles based on the standard, which are white noise filtration, moving average of white noise, sinusoidal approximation, Gaussian white noise, hybrid approach, Laplace processes and Gaussian random field.¹⁷

Lenkutus et al. (2021) compares the white noise filtration, the sinusoidal approach and the moving average of white noise. In case of the white noise filtration, a white noise signal is transformed into a road profile through a first-order linear shape filter. This method is easy to implement but sensitive to the adjustable parameters and the vehicle speed. In case of the sinusoidal method, the road profile can be generated from a set of sinusoidal waves with different phases, amplitudes and wavelengths. The advantages of the method are that more parameters can be controlled, and numerical errors are avoided by obtaining the road profile height without going through the numerical differentiation. It is the most time-consuming method and duplicates profile fragments. "The moving average of white noise is a convolution of a kernel function with an infinitesimal white noise process having the variance equal to the spatial discretization step."¹⁸ This method and the white noise filtration do not duplicate profile fragments. Tyan et al. (2009) compares the shaping filter and the sinusoidal approximation. In case of the shaping filter, it was found that the time constant of the transfer function is independent of the road profile grade. In case of the sinusoidal approach, it was obtained that the amplitude of each sinusoidal function is proportional to the square root of the related PSD. In the paper of Dharankar et al. (2017), random road profiles are generated using white noise filtration and superposition of harmonics (sinusoidal method). The statistical analysis of the generated road profiles is also presented to evaluate the efficacy of the presented methods. It was observed that white noise filtration with a low-frequency cut-off is suitable for random road profile generation but only for particular types of roads. It also has a large difference compared to the ISO standard in case of low frequencies. The sinusoidal approximation is a flexible and powerful technique to generate a random road profile from its spectral description. It provides the generation of the signal with its differentiations without going through numerical differentiation and therefore numerical errors can be avoided. In the paper of Agostinacchio et al. (2014), the sinusoidal approach was used to generate random road profiles. The force exchange between the pavement and different types of vehicles was examined using Matlab. It was shown that the vibrational stress from the vehicle can be

¹⁷ LENKUTIS et al. 2021.

¹⁸ LENKUTIS et al. 2021.

determined as a function of the pavement's surface degradation, and the speed and type of the vehicle. The quarter car model was used for the simulation.

In this study, the sinusoidal approach was selected, because of the ability to avoid numerical errors and it is based on the PSD of the road. In this case, the random road profile can be generated with the following formula:¹⁹

$$h(y) = \sum_{i=0}^N \sqrt{\Delta n} 2^k 10^{-3} \left(\frac{n_0}{i \Delta n} \right) \cos(2\pi i \Delta n y + \varphi_i) \quad (3)$$

where $h(y)$ is the amplitude of the road profile, y is the displacement, φ_i is a random phase angle, and k is a coefficient based on the road class (see Table 1).

Table 1: Road profile classification

Road class		k
A	B	3
B	C	4
C	D	5
D	E	6
E	F	7
F	G	8
G	H	9

Source: Compiled by the authors based on AGOSTINACCHIO et al. 2014: 270.

Road profile measurement

There are several road profile measurement methods. "Most of them measure vertical deviations of the road surface along the traveling wheel path."²⁰ The types of road profile measuring equipment can be divided into the following groups: response-type road roughness measuring systems, high-speed inertial profilers, profilographs, lightweight profilers, manual devices and longitudinal profile analysers. Nowadays, road profile estimation from the measured acceleration of the vehicle is spreading. To reduce the inaccuracies from the measuring device and the vehicle, artificial neural networks are developed to determine the road profile.²¹ In the paper of Zhao et al. (2019), a road profile estimation method using a smartphone is presented. First, the parameters of the vehicle are identified using a known-size hump. Then the road profile is estimated based on acceleration data measured by the smartphone using an augmented Kalman filter. The estimated profiles are compared with a profile measured by a laser profiler. In the paper of Lee et al. (2017), the development of a 3D profilometer to measure unpaved roads is presented. A virtual road model was also

¹⁹ AGOSTINACCHIO et al. 2014: 267–275.

²⁰ YOUSEFZADE et al. 2010: 743–754.

²¹ YOUSEFZADE et al. 2010: 743–754.

created, which was used in vehicle simulation. In the paper of Eshkabilov and Yunusov (2018), the road profile is measured using accelerometers installed on the front axle and the body of a car and a roughometer. For reference, the road profile was measured with a geometry-based approach too. A 100 m long asphalt pavement road was measured with a sampling frequency of 0.25 m per 1 m. In the paper of Li et al. (2015), a method of measuring asphalt pavement texture depth based on structured-light technology is proposed. The 3D data for the asphalt pavement was collected by laser triangulation using infrared lasers and an area-array camera. The asphalt pavement texture depth was calculated based on the 3D data.

For road profile measurement the geometric-based approach was selected as it was used to validate the measurement according to the literature.²² The road profile was measured using a Leica Disto S910 Laser Distance Meter digital laser meter. The points were measured in the width of the wheel of the fire truck. The height of the points was measured relative to a starting point. The device measures the vertical inclination, determines the direct distance between the gauge and the object, and calculates the vertical distance from the horizontal baseline by trigonometric calculation (Figure 1).

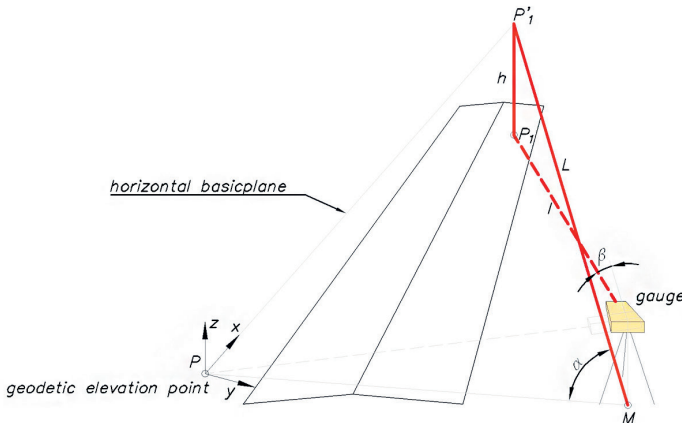


Figure 1: Measurement principle (right)

Source: Compiled by the authors.

The points M–P– P_1 stretch the horizontal base plane, which lies on a measured geodetic point. The instrument places the coordinate system on the first measured point. The x direction adjusts to the direction of the second point, while measuring the angle of horizontal rotation (α) and vertical rotation (β). Knowing the vertical angle, the legs of right-angled triangles can be calculated using the angle function, thus obtaining the horizontal distance (L) and the height difference (h).

Several technical parameters can be used to determine the longitudinal surface unevenness of the road surface.

- International Inequality Index (IRI)

²² ESHKABILOV–YUNUSOV 2018: 24–40.

- roughness
- wavelength
- longitudinal profile variance
- spectral density
- standard deviation

The most common technical parameter is IRI. When determining the wavelength, a 100 m section was chosen in Germany. In Belgium and the Czech Republic, it is determined using non-contact technology and a measurement length of 100 m. In the United Kingdom, the variance of the longitudinal profile is determined by sampling every 10 m.

So, taking the above into account, it can be said that in the case of longitudinal undulations, 10 m sampling is sufficient. We chose 0.25 m, which is already sufficient for vibration simulation.

The smallest measurable irregularity depends on the measuring instrument. Micro, macro and mega roughness are distinguished in the literature.²³ The micro roughness refers to wavelengths smaller than 0.5 mm. The macro roughness is between 0.5 mm and 50 mm. Finally, the mega roughness means a wavelength over 50 mm.

But taking into account the grain size in the pavement surface, a difference of less than 1 cm is not worth showing.

The measured road profile was selected in Nép street in Győr. The selected section is a sixth category road²⁴ with a traffic of 1,500–3,000 vehicles per day and very bad pavement condition. A 100 m section was selected for measurement and simulations. The measured road profiles are shown in Figure 2.

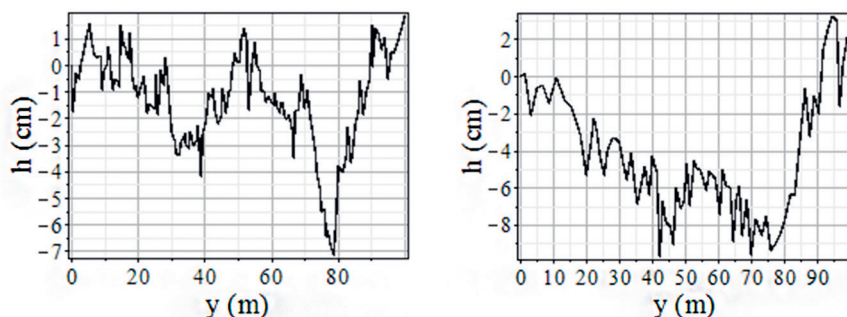


Figure 2: Measured road profiles
Source: Compiled by the authors.

The spatial frequency was large (70 cm), therefore instead of calculating the PSD, a statistical analysis was carried out to obtain the class of the road. Different road profiles were generated and then they were compared with the measured road profile. The minimum, maximum and

²³ COST 2007: 354; GÁSPÁR–KÁROLY 2007: 442–449.

²⁴ GÁSPÁR et al. 2011.

average values and the deviation were calculated. The measured average value in the case of the measured road profile should be first corrivated to compare with the generated road profile. The statistical analysis is shown in Table 2. Based on the statistical analysis it is an ISO C–D profile, which is a low-quality paved road.²⁵

Table 2: Statistical analysis of the road profiles

	k = 4	k = 5	k = 6	Left	Left corr.	Right	Right corr.
minimum (m)	-0.0366	-0.0605	-0.1054	-0.0715	-0.0585	-0.0970	-0.0516
maximum (m)	0.0258	0.0598	0.1555	0.0186	0.0316	0.0324	0.0778
average (m)	0	0	0	-0.0130		-0.0454	
deviation (m)	0.01450	0.0290	0.0580	0.0180		0.0323	

Source: Compiled by the authors.

Vehicle simulation

The vehicle model was based on a Csepel D755-10 fire heavy-duty fire truck.²⁶ As the aim of the study was road profile modelling and to test it in a simulation environment, therefore, the fire truck was modelled as a linear full vehicle model to generate 2 different road profiles to the left and right sides. The model can be seen in Figure 3.

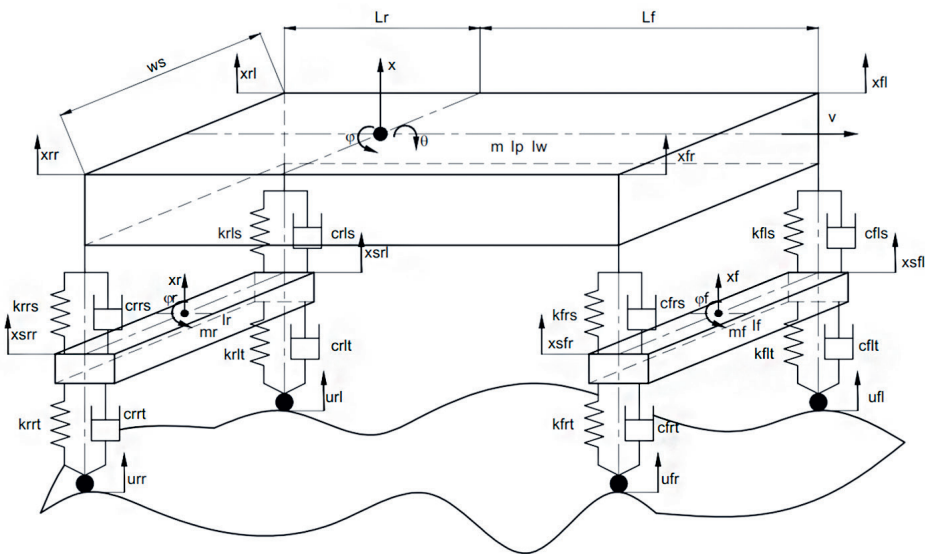


Figure 3: Full car model of the heavy-duty fire truck

Source: Compiled by the authors.

²⁵ MÚČKA 2018.

²⁶ HAJDU et al. 2019: 51–62.

The differential equations describing the system's behaviour can be obtained with free-body diagrams.²⁷

$$m\ddot{x} + k_{rrs}(x_{rr} - x_{srr}) + k_{rls}(x_{rl} - x_{srl}) + k_{frs}(x_{fr} - x_{sfr}) + k_{fls}(x_{fl} - x_{sfl}) + c_{rrs}(\dot{x}_{rr} - \dot{x}_{srr}) + c_{rls}(\dot{x}_{rl} - \dot{x}_{srl}) + c_{frs}(\dot{x}_{fr} - \dot{x}_{sfr}) + c_{fls}(\dot{x}_{fl} - \dot{x}_{sfl}) = 0 \quad (4)$$

$$I_p\ddot{\theta} + L_r k_{rrs}(x_{rr} - x_{srr}) + L_r k_{rls}(x_{rl} - x_{srl}) - L_f k_{frs}(x_{fr} - x_{sfr}) - L_f k_{fls}(x_{fl} - x_{sfl}) + L_r c_{rrs}(\dot{x}_{rr} - \dot{x}_{srr}) + L_r c_{rls}(\dot{x}_{rl} - \dot{x}_{srl}) - L_f c_{frs}(\dot{x}_{fr} - \dot{x}_{sfr}) - L_f c_{fls}(\dot{x}_{fl} - \dot{x}_{sfl}) = 0 \quad (5)$$

$$I_w\ddot{\varphi} + \frac{W_s}{2} k_{rrs}(x_{rr} - x_{srr}) + \frac{W_s}{2} k_{rls}(x_{rl} - x_{srl}) - \frac{W_s}{2} k_{frs}(x_{fr} - x_{sfr}) - \frac{W_s}{2} k_{fls}(x_{fl} - x_{sfl}) + \frac{W_s}{2} c_{rrs}(\dot{x}_{rr} - \dot{x}_{srr}) + \frac{W_s}{2} c_{rls}(\dot{x}_{rl} - \dot{x}_{srl}) - \frac{W_s}{2} c_{frs}(\dot{x}_{fr} - \dot{x}_{sfr}) - \frac{W_s}{2} c_{fls}(\dot{x}_{fl} - \dot{x}_{sfl}) = 0 \quad (6)$$

$$m_r\ddot{x}_r + k_{rrs}(x_{srr} - x_{rr}) + k_{rls}(x_{srl} - x_{rl}) + k_{rrt}(x_{srr} - u_{rr}) + k_{rlt}(x_{srl} - u_{rl}) + c_{rrs}(\dot{x}_{srr} - \dot{x}_{rr}) + c_{rls}(\dot{x}_{srl} - \dot{x}_{rl}) + c_{rrt}(\dot{x}_{srr} - \dot{u}_{rr}) + c_{rlt}(\dot{x}_{srl} - \dot{u}_{rl}) = 0 \quad (7)$$

$$I_r\ddot{\varphi}_r + \frac{W_s}{2} k_{rrs}(x_{srr} - x_{rr}) + \frac{W_s}{2} k_{rls}(x_{srl} - x_{rl}) + \frac{W_s}{2} k_{rrt}(x_{srr} - u_{rr}) + \frac{W_s}{2} k_{rlt}(x_{srl} - u_{rl}) + \frac{W_s}{2} c_{rrs}(\dot{x}_{srr} - \dot{x}_{rr}) + \frac{W_s}{2} c_{rls}(\dot{x}_{srl} - \dot{x}_{rl}) + \frac{W_s}{2} c_{rrt}(\dot{x}_{srr} - \dot{u}_{rr}) + \frac{W_s}{2} c_{rlt}(\dot{x}_{srl} - \dot{u}_{rl}) = 0 \quad (8)$$

$$m_f\ddot{x}_f + k_{frs}(x_{sfr} - x_{fr}) + k_{fls}(x_{sfl} - x_{fl}) + k_{frt}(x_{sfr} - u_{fr}) + k_{flt}(x_{sfl} - u_{fl}) + c_{frs}(\dot{x}_{sfr} - \dot{x}_{fr}) + c_{fls}(\dot{x}_{sfl} - \dot{x}_{fl}) + c_{frt}(\dot{x}_{sfr} - \dot{u}_{fr}) + c_{flt}(\dot{x}_{sfl} - \dot{u}_{fl}) = 0 \quad (9)$$

$$I_f\ddot{\varphi}_f + \frac{W_s}{2} k_{frs}(x_{sfr} - x_{fr}) + \frac{W_s}{2} k_{fls}(x_{sfl} - x_{fl}) + \frac{W_s}{2} k_{frt}(x_{sfr} - u_{fr}) + \frac{W_s}{2} k_{flt}(x_{sfl} - u_{fl}) + \frac{W_s}{2} c_{frs}(\dot{x}_{sfr} - \dot{x}_{fr}) + \frac{W_s}{2} c_{fls}(\dot{x}_{sfl} - \dot{x}_{fl}) + \frac{W_s}{2} c_{frt}(\dot{x}_{sfr} - \dot{u}_{fr}) + \frac{W_s}{2} c_{flt}(\dot{x}_{sfl} - \dot{u}_{fl}) = 0 \quad (10)$$

where

$$x_{rr} = x + L_r\theta - \frac{W_s}{2}\varphi \quad (11)$$

$$x_{rl} = x + L_r\theta + \frac{W_s}{2}\varphi \quad (12)$$

$$x_{fr} = x - L_f\theta - \frac{W_s}{2}\varphi \quad (13)$$

²⁷ HORVÁTH 2006.

$$x_{fl} = x - L_f \theta + \frac{w_s}{2} \varphi \quad (14)$$

$$x_{srr} = x_r - \frac{w_s}{2} \varphi_r \quad (15)$$

$$x_{srl} = x_r + \frac{w_s}{2} \varphi_r \quad (16)$$

$$x_{sfr} = x_l - \frac{w_s}{2} \varphi_l \quad (17)$$

$$x_{sfl} = x_l + \frac{w_s}{2} \varphi_l \quad (18)$$

The mass parameters were taken from the manufacturer's catalogue. The moment of inertia of the axles was calculated with CAD software. The parameters of spring stiffness and the damping coefficients were taken from the literature.²⁸ The parameters used for the simulation are listed in Table 3.

Table 3: Simulation parameters

Parameter	Value	Unit
m	14,400	kg
m_r	1,480	kg
m_f	620	kg
I_p	58,000	kgm ²
I_w	17,500	kgm ²
I_r	250	kgm ²
I_f	160	kgm ²
w_s	2.2	m
L_r	0.613	m
L_f	3.486	m
k_{rrs}, k_{rls}	400,000	N/m
k_{frs}, k_{fls}	0.613	N/m
c_{rrs}, c_{rls}	3.486	Ns/m
c_{frs}, c_{fls}	20,000	Ns/m
k_{rrt}, k_{rlt}	1,800,000	N/m
k_{frt}, k_{flt}	1,000,000	N/m
c_{rrt}, c_{rlt}	1,000	Ns/m
c_{frt}, c_{flt}	500	Ns/m

Source: Compiled by the authors.

²⁸ JIAO 2013.

For numerical simulations, Maple 17 was used. Rkf45 numerical algorithm was used with step size 0.01 s. A C–D class road with $k = 5$ was generated. The frequency band was divided into 1,000 intervals. A 100 m long road profile was generated. The horizontal distance of the road profile was converted into time as a function of speed, then the excitation signals on the tires were calculated as third-degree spline polynomials, which were used as mathematical equations in the simulation ($u_{rr}(t), u_{rl}(t), u_{fr}(t), u_{fl}(t)$). A time delay was included between the front and rear suspension:

$$T_d = \frac{Lr + Lf}{v} \tag{19}$$

where v is the vehicle's speed. This time delay is 0.3 s if the vehicle speed is 50 km/h.

The vehicle speed was 50 km/h. The displacement of the body and the axles is shown in Figure 4.

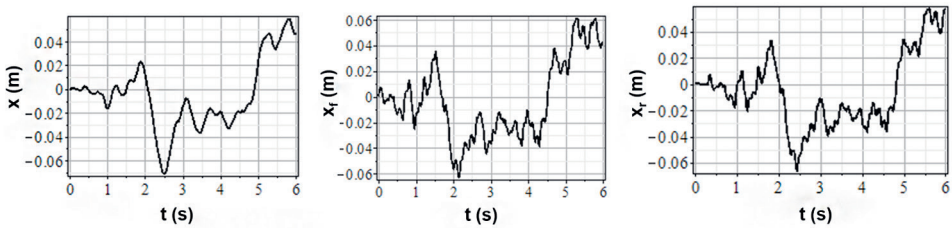


Figure 4: Displacement of the body (left), front axle (middle) and rear axle (right)
 Source: Compiled by the authors.

The maximum displacement is 0.06 m. A time delay between the front and rear axle can be observed. Besides the time delay, the displacement is similar in the case of both axles which can be explained by the rigid suspension. The acceleration and the frequency of the body are shown in Figure 5.

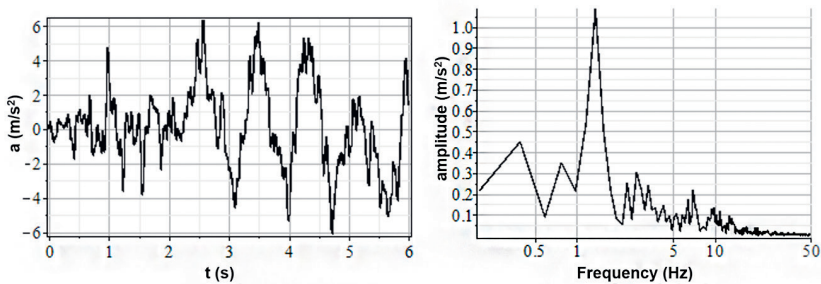


Figure 5: Acceleration of the body (left) and frequency diagram (right)
 Source: Compiled by the authors.

The maximum acceleration of the body is 6.359 m/s^2 . The peak frequency is 1.37 Hz , which corresponds to the scientific literature.²⁹

This simulation was compared to measurement results.³⁰ The acceleration and the frequency diagram of the measurement is shown in Figure 6. It can be seen that the maximum of acceleration is larger than in the case of the simulation. This can be explained by the larger road irregularities for example potholes. Also the parameters were taken from the literature of a similar heavy-duty truck and were not measured exactly. In the field measurement there was a longer road segment (around 500 m), while because of the long simulation time in the simulation it was 100 m . Therefore, not exactly the same road segment was measured during the field measurement. The accelerometer was also not placed exactly at the centre of gravity of the superstructure. It can be also seen that the peak frequency is 1.88 Hz , which is larger than in the simulation. The explanation can be that during the field measurement more points were recorded. A further research task is to improve the simulation model based on the field measurements.

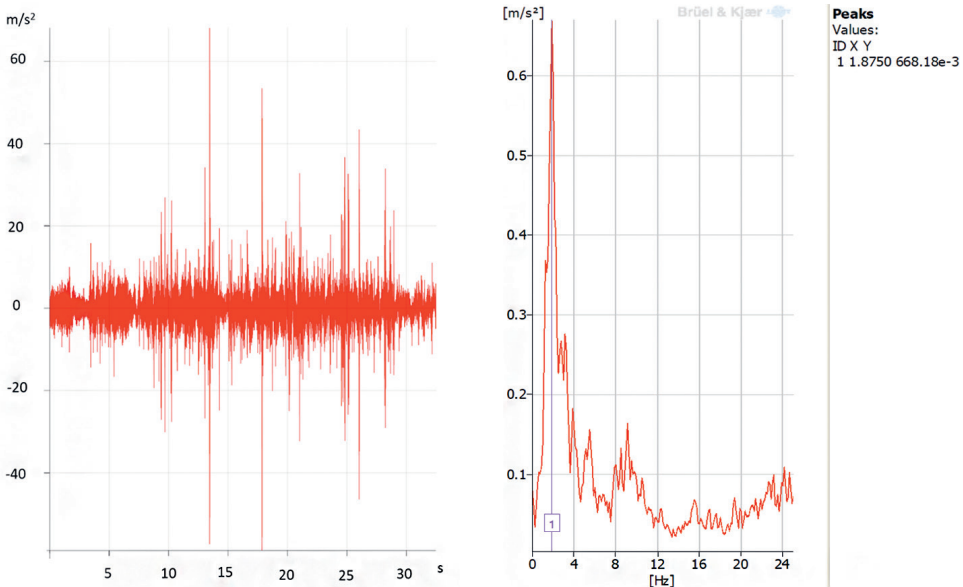


Figure 6: Measured acceleration (left) and frequency diagram (right)
Source: Compile by the authors.

²⁹ GEBRESENBET et al. 2011: 10–19; HASSAN–MCMANUS 2002: 65–75.

³⁰ More details about the measurements can be found in HAJDU et al. 2019: 51–62.

Conclusion

In this paper, the road profile modelling for a heavy-duty fire truck simulation was presented. To generate random road profiles a sinusoidal approach was selected based on road profile measurements. The road profiles were implemented as spline functions in the vehicle simulation. The fire truck was modelled as a full vehicle model to generate 2 different road profiles to the left and right sides. The peak frequency of the vehicle's acceleration is 1.4 Hz, which is similar to the results of other researches and corresponds to the value found in the available literature. The use of a full vehicle model allowed more accurate simulations, therefore a time delay between the front and rear axle was also observed. In the course of the analyses, a model was established taking into account the parameters of the heavy-duty firefighting vehicle. It provided a suitable starting point for obtaining accurate simulation results, therefore, in our opinion, it can be used for testing the suspension system of other vehicles with special superstructures, such as military vehicles. Further research tasks include a frequency-based analysis to obtain the harmful effects of road irregularities more precisely and use other road profile generation methods like white noise filtration. An important research task will be road profile generation based on field measurement and to improve the simulation model according to measurements. Other important tasks are to include the nonlinear effects of the vehicle and to obtain the fatigue damage.

References

- AGOSTINACCHIO, Michele – CIAMPA, Donato – OLITA, Saverio (2014): The Vibrations Induced by Surface Irregularities in Road Pavements – A Matlab® Approach. *European Transport Research Review*, 6(3), 267–275. Online: <https://doi.org/10.1007/s12544-013-0127-8>
- BOGSJÖ, Klas – RYCHLIK, Igor (2009): Vehicle Fatigue Damage Caused by Road Irregularities. *Fatigue and Fracture of Engineering Materials & Structures*, 32(5), 391–402. Online: <https://doi.org/10.1111/j.1460-2695.2009.01340.x>
- BURDZIK, Rafal – KONIECZNY, Łukasz (2014): Vibration Issues in Passenger Car. *Transport Problems*, 9(3), 83–90.
- COST 354 (2007): *Performance Indicators for Road Pavement*. Work package WG2: Individual Performance Indicators. Report. Online: http://cost354.zag.si/fileadmin/cost354/2wpr/COST354_WP2_Report_30052008.pdf
- DHARANKAR, Chandrashekhhar S. – HADA, Mahesh K. – CHANDEL, Sunil (2017): Numerical Generation of Road Profile through Spectral Description for Simulation of Vehicle Suspension. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 39(6), 1957–1967. Online: <https://doi.org/10.1007/s40430-016-0615-6>
- ESHKABILOV, Sulaymon – YUNUSOV, Abdvokhid (2018): Measuring and Assessing Road Profile by Employing Accelerometers and IRI Assessment. *American Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 3(2), 24–40. Online: <https://doi.org/10.11648/j.ajtte.20180302.12>
- FAHAD, Mohammad – NAGY, Richard – FULEKI, Peter (2022): Creep Model to Determine Rut Development by Autonomous Truck Axles on Pavement. *Pollack Periodica: An International Journal for Engineering and Information Sciences*, 17(1), 66–71. Online: <https://doi.org/10.1556/606.2021.00328>
- GÁSPÁR, László – HORVÁT, Ferenc – LUBLÓY, László (2011): *Közlekedési létesítmények élettartama* [Lifetime of Transport Facilities]. Győr: Universitas-Győr Kft.

- GÁSPÁR, László – KÁROLY, Róbert (2007): Útpályaszerkezetek makroérdességi és csúszásellenállási teljesítményi mutatói [Macro-roughness and Skid Resistance Performance Indicators of Road Structures]. *Közlekedéstudományi Szemle*, 57(11), 442–449. Online: http://real-j.mtak.hu/11018/12/Kozlekedestudomanyi_2007_12.pdf
- GEBRESENBET, Girma – ARADOM, Samuel – BULITTA, Fufa S. – HJERPE, Eva (2011): Vibration Levels and Frequencies on Vehicle and Animals during Transport. *Biosystems Engineering*, 110(1), 10–19. Online: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.05.007>
- GILLESPIE, T. D. – SAYERS, M. (1981): *Role of Road Roughness in Vehicle Ride*. Washington, D.C.: Transportation Research Board, 60th Annual Meeting. Online: <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1981/836/836-003.pdf>
- HAJDU, Flóra – SZALAI, Péter – MIKA, Péter – KUTI, Rajmund (2019): Parameter Identification of a Fire Truck Suspension for Vibration Analysis. *Pollack Periodica: An International Journal for Engineering and Information Sciences*, 14(3), 51–62. Online: <https://doi.org/10.1556/606.2019.14.3.6>
- HASSAN, Rayya – MCMANUS, Kerry (2002): Perception of Low Frequency Vibrations by Heavy Vehicle Drivers. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 21(2), 65–75. Online: <https://doi.org/10.1260/026309202761019516>
- HORVÁTH, Péter (2006): *A mechatronika alapjai II* [Basics of Mechatronics II]. Győr: Széchenyi István University.
- ISO 8608:2016: Mechanical Vibration Road Surface Profiles – Reporting of Measured Data.
- JIAO, Leijia (2013): *Vehicle Model for Tyre–Ground Contact Force Evaluation*. Master thesis, KTH Royal Institute of Technology. Online: www.diva-portal.org/smash/get/diva2:872185/FULLTEXT01.pdf
- KOVTUN, Vadim A. – KOROTKEVICH, Sergey G. – ZHARANOV, Vitaliy A. (2018): Computer Simulation and Research of the Stress-Strain State of Fire Tank Truck Construction. *Journal of Civil Protection*, 2(1). Online: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2018.2-1.81>
- KOVTUN, Vadim – KOROTKEVICH, Sergey G. – MIRCHEV, Yordan – LODNYA, Vyacheslav (2019): Optimization of Fire Truck's Tanks on the Chassis MAZ-6317 by the Method of Computer Simulation. *International Journal "NDT Days"*, 2(4), 495–500. Online: www.ndt.net/article/NDTDays2019/papers/JNDTD-v2-n4-a16.pdf
- LAKUŠIĆ, Stjepan – BRČIĆ, Davor – TKALČEVIĆ LAKUŠIĆ, Višnja (2011): Analysis of Vehicle Vibrations – New Approach to Rating Pavement Condition of Urban Roads. *Promet – Traffic & Transportation*, 23(6), 485–494. Online: <https://doi.org/10.7307/ptt.v23i6.183>
- LEE, Jeong-Hwan – LEE, Sang-Ho – KANG, Do-Kyung – NA, Sang-Do – YOO, Wan-Suk (2017): Development of a 3D Road Profile Measuring System for Unpaved Road Severity Analysis. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 18(2), 155–162. Online: <https://doi.org/10.1007/s12541-017-0021-8>
- LENKUTIS, Tadas – ČERŠKUS, Aurimas – ŠEŠOK, Nikolaj – DZEDZICKIS, Andrius – BUČINSKAS, Vytautas (2021): Road Surface Profile Synthesis: Assessment of Suitability for Simulation. *Symmetry*, 13(1). Online: <https://doi.org/10.3390/sym13010068>
- LI, W. – SUN, Z. – HAO, Xuming – FENG, Xia-Ting (2015): Measuring Method for Asphalt Pavement Texture Depth Based on Structured-Light Technology. *Advances in Transportation Studies*, 36, 75–84. Online: www.atsinternationaljournal.com/index.php/2015-issues/xxx-vi-july-2015/582-measuring-method-for-asphalt-pavement-texture-depth-based-on-structured-light-technology
- LITAK, Grzegorz – BOROWIEC, Marek – FRISWELL, Michael I. – SZABELSKI, Kazimierz (2008): Chaotic Vibration of a Quarter-Car Model Excited by the Road Surface Profile. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 13(7), 1373–1383. Online: <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2007.01.003>
- MATSIKA, Emmanuel (2001): *Modelling of the Effect of Potholes on Motor Vehicle Structures*. Master thesis, University of Zambia. Online: <http://dspace.unza.zm/bitstream/handle/123456789/598/MatsikaE0001.PDF?sequence=1&isAllowed=y>

- MÚČKA, Peter (2018): Simulated Road Profiles According to ISO 8608 in Vibration Analysis. *Journal of Testing and Evaluation*, 46(1). Online: <https://doi.org/10.1520/JTE20160265>
- ŞENDUR, Polat – KURTDERE, Ali – AKALYAR, Oral (2013): A Methodology to Improve Steering Wheel Vibration of a Heavy Commercial Truck. *SAE Technical Paper*, 2013-01-2351. Online: www.ingen-taconnect.com/contentone/ince/incep/2016/00000253/00000007/art00120?crawler=true
- TYAN, Feng – HONG, Yu-Feng – TU, Shun-Hsu – JENG, Wes S. (2009): Generation of Random Road Profiles. *Journal of Advanced Engineering*, 4(2), 151–156.
- YOUSEFZADEH, Mahdi – AZADI, Shahram – SOLTANI, Abbas (2010): Road Profile Estimation Using Neural Network Algorithm. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 24(3), 743–754. Online: <https://doi.org/10.1007/s12206-010-0113-1>
- ZEIDI, Seyed M. J. – HOSEINI, Pedram A. – RAHMANI, Ali (2017): Modeling a Three-axle Truck and Vibration Analysis under Sinusoidal Road Surface Excitation. *International Journal of Science and Engineering Applications*, 6(9), 285–295. Online: <https://doi.org/10.7753/IJSEA0609.1006>
- ZHAO, Boyu – NAGAYAMA, Tomonori – XUE, Kai (2019): Road Profile Estimation, and Its Numerical and Experimental Validation, by Smartphone Measurement of the Dynamic Responses of an Ordinary Vehicle. *Journal of Sound and Vibration*, 457, 92–117. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2019.05.015>
- ZHAO, Leilei – ZHOU, Changcheng – YU, Yuewei – YANG, Fuxing (2016): A Method to Evaluate Stiffness and Damping Parameters of Cabin Suspension System for Heavy Truck. *Advances in Mechanical Engineering*, 8(7), 1–9. Online: <https://doi.org/10.1177/1687814016654429>

Csaba Almási¹ 

Evolution of the Regulation of the Transport of Dangerous Goods by Road, Part 2

In the first part of the two-part publication, the author presented the main stages in the history of the transport of dangerous goods by road, the administrative background, the current trends in the transport of dangerous goods and the most serious accidents. The author considers the development of the regulation of the transport of dangerous goods as a milestone in the development of the relevant international conventions and their amendments. The ADR Agreement has been amended twice so far, firstly in the body of the Agreement and secondly in the title. The second amendment removed the word "European" from the title of the Agreement, thus allowing it to be extended worldwide. In the second part of the publication, the author describes the process of the second amendment of the Agreement and examines its impact.

Keywords: ADR Agreement, Transport History, Protocol, Amendment, European

Introduction

In the first part, I showed that the transport of dangerous goods in large quantities across national borders became possible after the revolution in transport. The 18th and 19th centuries were the birth of dangerous goods transportation with modern risks. It continued with the technical revolutions of the 20th century, the spread of machine production, the use of petroleum products and the start of mass production. Therefore, it cannot be measured on today's scale, but the transport of dangerous goods in larger quantities, crossing national borders, is approx. It looks back on a history of 200–300 years, in which I consider the establishment of relevant international conventions and their amendments as milestones.²

¹ Assistant Lecturer, University of Public Service, Faculty of Law Enforcement, Institute of Disaster Management, e-mail: almasi.csaba@uni-nke.hu

² ALMÁSI 2023: 113–122.

In the first part of the two-part publication, I presented the most important milestones in the history of the transport of dangerous goods by road, up to the beginning of its most recent, second amendment. I presented the relevant international organisations, their structure and operation, today's trends in the transportation of dangerous goods, and the most serious accidents in the history of the transportation of dangerous goods.

The European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road was concluded in Geneva on 30 September 1957 and entered into force on 29 January 1968.

The Agreement has been amended twice so far. Firstly, by the New York Protocol of 21 August 1975, Article 14 (3), which entered into force on 19 April 1985. The first amendment concerned the body of the Agreement.

The second amendment concerned the title of the Agreement, which entered into force on 1 January 2021 by the Protocol adopted by the Contracting Parties on 13 May 2019. The second amendment is effective from 1 January 2021, and is particularly significant because it was implemented in the title of the Agreement by removing the adjective "European", thus allowing the Agreement to be extended worldwide.

This article describes the main stages in the history of the Agreement, the process of the second amendment and reviews the experience gained since then.

Preparation of the second amendment to the ADR, Portugal's proposal

On the 13th of May 2019, Geneva, the Contracting Parties of the 1957 European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR) held a conference to inspect the Portuguese proposal regarding the amendment of the ADR's title. The ECE/TRANS/ADR/CONF/2019/3³ document includes Portugal's statement which is summarised in short below.

The Working Party on Transport of Dangerous Goods inspected the proposal on the removal of "European" from the title of European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR) at its 104th meeting from 15 to 17 May 2018.

The Portuguese proposal points out that the word "European" in the agreement's title does not refer to those non-European countries wishing to join the ADR. But the joining criteria give opportunity for these countries too. In accordance with the 6th Article of the agreement, the members of the United Nations Economic Commission for Europe, and the consultative members of the Commission can join the agreement. The agreement is therefore opened for those member states of the UN that are not members of the Commission but participate in its work. The proposed amendment would allow in practice the joining of countries that are not members of the Commission but the word "European" hinders their affiliation.

³ United Nations Digital Library 2019a.

It is declared that the proposal is part of the argument regarding the improvement of the ADR, and part of the Working Party's effort to help certain countries in reaching the UN Sustainable Development Goals by 2030.⁴

No objections were raised against the proposal. The Working Party took the initiative to launch the appropriate legal procedures to this end.

The Working Party supports the tacit acceptance procedure under the principle of no objection because of the amendment's nature. This would mean that if the amendment is taken as accepted in the case of no objections, it would become compulsory for all Parties. Furthermore, any State that becomes a Contracting Party after the conditions for entry into force of the amendment have been met would become a Contracting Party to the Agreement as amended by the amending Protocol.

Article 13 (1) provides that the review of the agreement can be performed by the conference of the Contracting Parties which is convened by the Secretary General at the request of any Contracting Party.

As the Chair of the Working Party, the Portuguese Government has the duty to initiate the convocation of Contracting Parties' conference, preferably during the 106th session (13–17 May 2019) to ponder and accept amendment of ADR's current title. The modified title would be: "Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road". The abbreviation (ADR) would remain the same.

The negotiation and the acceptance of the amending protocol

The summary report of the conference (ECE/TRANS/ADR/CONF/2019/2),⁵ held on 13 May 2019 in Geneva is reviewed in the section below. The report includes the ITC's and the Working Party on Transport of Dangerous Goods' (WP.15) examination procedure which started in 2009 on whether it is possible to remove the word "European" from the agreement's title.

Austria indicated that according to them, regulations in Article 13 (2) of the agreement were ignored. But others pointed out that the Portuguese proposal was commonly known, it was discussed at the meetings of the ITC and the WP.15 during the last 10 years. It was also added that the section (3) recommendation of the 1993 Amending Protocol was followed during the procedure.

It was highlighted that no formal proposal was handed in except the Portuguese in the 10 years during which the WP.15 pondered the possibility of the agreement's amendment.

Austria noted that the Agreement's Article 6 already involves the joining possibility of non-European countries, and that the change of title is obviously intended to promote and extend the Agreement. The country also added that a huge number of acceding states is expected, and if the number of the Contracting Parties grows, modifying the regulations for participation in the decision-making process regarding ADR amendment, modifying the rules

⁴ Cf. ECE document /TRANS/WP.15/242, paragraphs 45–49.

⁵ United Nations Digital Library 2019b.

for finalising amendments and modifying the rules for participation in WP.15 meetings would be needed. The suggested problem was forwarded for discussion to the WP.15 meetings.

The representative of Turkey suggested that the approval of the Turkish Government may be needed to allow the amendment to enter into force in Turkey. The conditions for ratification are not set out in the Agreement on this account, it is for the Contracting Parties to determine the process of enactment.

Having discussed the different viewpoints, the conference accepted the Portuguese proposal in document ECE/TRANS/ADR/CONF/2019/3 by consensus, and the related Protocol amending the Agreement in document ECE/TRANS/ADR/CONF/2019/4, with a correction of a typographical error in the title of the Protocol (affecting only the English version) and an amendment to Article 2 (3). The Annex of the document ECE/TRANS/ADR/CONF/2019/2 includes the amending protocol accepted by the conference.

All Contracting Parties receive the decision for acceptance in the form of a depositary notification. If no objections are raised within 6 months of the date of the Depositary Notification, the amendment shall be deemed to be accepted and shall enter into force on 1 January 2021.

Introduction of the amendment into the Hungarian legal system

The European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR) was signed in Geneva on 30 September 1957 and entered into force on 29 January 1968.

Hungary joined the Agreement three years after an ethylene explosion in Aszód. The accession was announced by the legislative decree 19/1979, which entered into force on 18 August 1979, and the domestic application of Annexes was specified in the 20/1979 (18.IX.) KPM Regulation. Due to the removal of the term "European" from the Agreement, the previously mentioned legislative decree had to be amended. At present, concerning the content of the Agreement, the Government Decree 508/2020 (18.XI.) is in effect.

The application of the rules for road, rail and inland waterway transport is now standardised for the Member States of the European Union by Directive 2008/68/EC on the inland transport of dangerous goods.

284/2023 (30.VI.) Government Decree and The European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR) and the 39/2021 (30.VII.) ITM regulation are in effect since 2021.

Today, in Hungary, Act I of 1988 on Road Traffic establishes the jurisdiction of certain authorities to carry out independent inspections and to impose fines. The law defines the procedure for the imposition of fines in accordance with the powers of control. The bodies entitled to carry out inspections are the traffic authority, the police, the customs authority and the disaster management authority.⁶

⁶ Act I of 1988 on Road Traffic.

Further essential domestic legislations guaranteeing the safety of goods transported are:

- Government Decree 1/2002 (11.I.) on the uniform procedure for the control of the transport of dangerous goods by road
- Government Decree 156/2009 (29.VII.) on the amount of fines for infringements of certain provisions relating to the carriage of goods and passengers by road and road transport, and on the duties of the authorities in relation to the imposition of fines
- Decree 7/2011 (8.III.) of the Ministry of Agriculture (NFM) on the road transport of agricultural chemicals and fuels by agricultural tractors or trailers towed by slow vehicles
- the NFM Decree 25/2014 (30.IV.) on the Dangerous Goods Transport Safety Guide.

In Hungary, considering all transport sectors, there are approximately 40–60 yearly incidents of greater significance regarding the transport of dangerous goods⁷

Conclusions

The Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road entered into force on 1 January 2021 – from here on, not containing the term “European”. Austria expected a major increase in the number of member states. According to the registry of the UN Treaty Collection, after 1 January 2021, only Armenia (12 April 2022) and Uganda (23 August 2022) joined the Agreement.⁸ The large number of connections expected before the amendment is therefore still to come.

Uganda is in the unique position of not bordering any other member state, with the closest Contracting Party being Nigeria, which is also “isolated” from an ADR perspective. The location of these countries, not least the member states with external borders with the Contracting Parties, raises questions.

It is useful to start by examining the benefits of joining the ADR. One of the advantages of ADR is that it is a long-established, continuously developed and proven safety system, which the Contracting Parties are equal partners in shaping. However, the most important result of accession is that member states may set a common minimum security threshold and conditions for the entry of dangerous goods into their territory, but in the case of cooperation with third countries, compliance with these requirements must be specifically provided for. The European Union settles the issue in Directive 2008/68/EC on the inland transport of dangerous goods: “The transport of dangerous goods between Member States and third countries shall be authorised in so far as it complies with the requirements of the ADR, RID or ADN, unless otherwise indicated in the Annexes.”⁹ For the Member States of the European Union, the above Directive also contains the various national provisions (Annexes I, II and III to Directive 2008/68/EC) in all the official languages of the EU, in a single text.

⁷ Vass 2012.

⁸ United Nations Treaty Collection 2022.

⁹ Directive 2008/68/EC of the European Parliament and of the Council.

The Contracting Parties do not necessarily have to have a common border, but the expansion of the Agreement is the result of economic cooperation and would be reasonable.

Thus, in the case of Uganda, Nigeria, Tunisia, Morocco, or French Guiana, as well as in the case of States with external borders of the Contracting Parties, if the application of the ADR, which is presumably incorporated into their internal legal order, is also required for shipments from third countries entering their borders, they will either face import and supply barriers or indirectly extend compliance to the territory of a non-ADR Party.

The Agreement does not even explicitly state how to proceed in case of a shipment coming from a third, non-contracting country, whether it may enter the territory of a Contracting Party at all. There is a point in Article 4.1 of the Agreement stating that "the Contracting Parties reserve the right to regulate or prohibit the entry of dangerous goods into their territory for reasons other than the safety of transport".¹⁰ However, from the context of the text, it is clear that the goods in question are dangerous goods, the transport of which is not otherwise prohibited and will continue to be so between the Contracting Parties.

Based on the above, two main types of so-called "ADR operations" can be distinguished in relation to third countries. The first category covers those types of transport operations between the territory of the European Union and the territory of third countries, and the second category covers those operations between the territory of Contracting Parties other than the European Union and the territory of third countries.

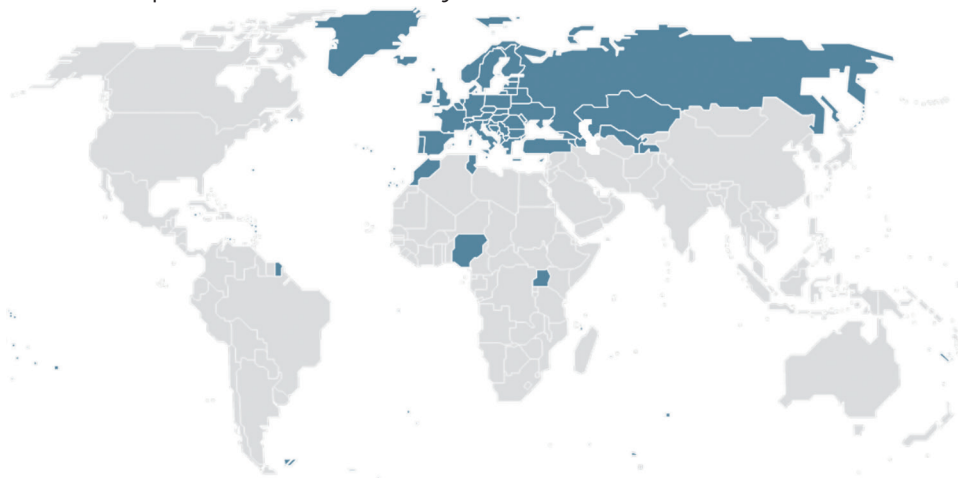


Figure 1: Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR), of 30 September 1957 – Date map

Source: UNECE 2022b.

The above points out that the change in the title of the Agreement may also draw attention to the development of issues discussed at different levels of implementation.

¹⁰ UNECE 2022a.

The offices of the Contracting Parties shall cooperate with each other in the implementation of the ADR.¹¹ The UNECE keeps a register of competent authorities, which is available online;¹² however, this register could also form an official part of the ADR Annexes A and B, in order to effectively manage any incident between the authority of the Contracting Party and the undertaking concerned.

UNITED KINGDOM OF GREAT BRITAIN AND NORTHERN IRELAND

Main competent authority	
	Department for Transport - Dangerous Goods Division Third Floor Great Minster House 33 Horseferry Road UK-LONDON SW1P 4DR Tel.: +44 (0) 20 79 44 2271 / 5120 E-mail: dangerousgoods@dft.gov.uk
	Class 1 Her Majesty's Chief Inspector of Explosives Health and Safety Executive 5 S.2 Redgrave Court Merton Road Bootle Merseyside, L20 7HS United Kingdom Tel.: +44 (0) 20 3028 4025 Fax: +44 (0) 20 3028 3891 E-Mail: explosive.enquiries@hse.gov.uk
	Class 7 Office for Nuclear Regulation Building 4 Redgrave Court Merton Road Bootle L20 7HS Email: ONRenquiries@onr.gsi.gov.uk

Figure 2: Example for country information

Source: UNECE 2022e.

Cooperation between public authorities and undertakings can be essential. For instance, in the Member States of the European Union, hazardous establishments covered by the Seveso Directive must demonstrate to the competent authorities in a safety documentation that the additional risks posed by their operation are below a socially tolerable level and that they are prepared to deal with any possible emergency. The safety documentation is examined and assessed by the authority in three main areas:

1. The establishment must maintain an adequate safety distance from residential areas, public buildings or major traffic routes.

¹¹ UNECE 2022c.

¹² UNECE 2022d.

2. Emergency planning. Operators should prepare internal and external protection plans to protect the public.
3. Preparing the population. The part of the population that may be affected by a major accident event should be provided with appropriate information on the safety measures to be taken and the rules of behaviour to be followed in the event of an emergency.¹³

It is clear that emergency planning is a proven and effective system in the EU for hazardous establishments covered by the Seveso Directive.

For the event of a transport emergency or any incident, there is a number of declared specificities of international relations between the competent authority (state) and the enterprise.

Following the second amendment of the ADR, this publication describes the process of the second amendment and reviews the experience since then. The article also highlights challenges at different levels, for example in relation to third country issues. The Agreement does not explain how to deal with consignments from third, non-Contracting Party countries, in particular whether they can enter the territory of a Contracting Party at all. In my view, the expectations and provisions vis-à-vis third countries should be placed in the body of the Agreement.

ADR is a long-established, continuously developed and proven safety system, which the Contracting Parties are equal partners in shaping. The main advantage of accession is that member states can set a common minimum security threshold and conditions for the entry of dangerous goods into their territory. The creation of a single administrative surveillance mechanism would allow for a faster and better documented detection of non-compliance by the competent authority.

References

- ALMÁSI, Csaba (2023): Evolution of the Regulation of the Transport of Dangerous Goods by Road. Part 1. *Műszaki Katonai Közlöny*, 33(2), 113–122. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2023.2.9>
- CIMER, Zsolt – VASS, Gyula – ZSITNYÁNYI, Attila – KÁTAI-URBÁN, Lajos (2021): Application of Chemical Monitoring and Public Alarm Systems to Reduce Public Vulnerability to Major Accidents Involving Dangerous Substances. *Symmetry*, 13(8). Online: <https://doi.org/10.3390/sym13081528>
- United Nations Digital Library (2019a): *Communication and proposal of amendment to the title of the ADR, transmitted by the Government of Portugal*. Online: <https://digitallibrary.un.org/record/3884476?ln=en>
- United Nations Digital Library (2019b): *Report of the 2nd meeting of the Conference of the Contracting Parties to the 1957 European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road, held in Geneva on 13 May 2019*. Online: <https://digitallibrary.un.org/record/3884475?ln=en>
- United Nations Treaty Collection (2022): *Chapter XI Transport and Communications B. Road Traffic*. Online https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=IND&mtdsg_no=XI-B-14&chapter=11&clang=_en

¹³ CIMER et al. 2021.

- UNECE (2022a): *Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR)*. Online: <https://unece.org/adr-2021-files>
- UNECE (2022b): *Road map for accession and implementation*. November 2022. Online: https://unece.org/sites/default/files/2022-11/ADR_Road_Map_EN.pdf
- UNECE (2022c): *ADR 1.8.2, Mutual administrative support*. Online: <https://unece.org/adr-2021-files>
- UNECE (2022d): *Competent authorities for the transport of dangerous goods*. Online: <https://unece.org/transport/dangerous-goods/competent-authorities>
- UNECE (2022e): *Country information (Competent Authorities, Notifications)*. Online: https://unece.org/sites/default/files/2023-08/UnitedKingdom_2023-08.pdf
- VASS, Gyula (2012): *Katasztrófavédelmi rendszer változásának aktuális kérdései. I. Katonai Hatósági Konferencia*, 8–9 May 2012. Online: <http://hm.hatosagihivatal.kormany.hu/download/a/ec/40000/Dr%20Vass%20Gyula%20-%20Katasztr%C3%B3fav%C3%A9delmi%20rendszer%20v%C3%A1ltoz%C3%A1s%C3%A1nak%20aktu%C3%A1lis%20k%C3%A9rd%C3%A9sei.pdf>

Legal References

- Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR)
Directive 2008/68/EC of the European Parliament and of the Council of 24 September 2008 on the inland transport of dangerous goods
Act I of 1988 on Road Traffic

Gábor Kerék,¹  Enikő Anna Tamás,²  Dorottya Szám³ 

The Incision of the Riverbed on the Upper Hungarian Danube and the Rába, in the Region of the Confluence of the Moson-Danube

The phenomenon of bed subsidence on our channelised rivers is a well-known fact for a long time. In the upper reach of the Danube in Hungary, this process seems to have accelerated in recent decades due to the construction of hydroelectric power plants on the German, Austrian and Slovak sections of the river and other anthropogenic effects. As a result, similar processes are also present in the lower reach of the Moson-Danube and Rába rivers, which are hydromorphologically significantly influenced by the Danube. In our study, we quantify the magnitude and temporal changes of this phenomenon by examining the hydrological time series of the Danube between the gauging stations of Dévény and Komárom and of the Rába between Sárvár and Győr. We estimate its impact on floods, navigation and the safety of drinking water resources.

Keywords: hydrology, hydromorphology, trend analysis, flood protection, navigation, river basin, Danube, Rába, riverbed incision

Introduction

Since the end of the 19th century the Danube River, especially on its Bavarian and Alpine region is affected by several anthropogenic effects causing morphological changes in the riverbed.⁴ There are two main reasons for the high levels of bed erosion in the river. On the one hand, the long-term impact of river channelisation and river regulation works throughout the catchment

¹ North-Transdanubian Water Directorate, e-mail: kerek.gabor@gmail.com

² Ludovika University of Public Service, Faculty of Water Sciences, e-mail: tamas.eniko.anna@gmail.com

³ Ludovika University of Public Service, Faculty of Water Sciences, e-mail: szam.dorottya.reka@gmail.com

⁴ PESSENLEHNER et al. 2016.

in the German and Austrian parts of the river basin, where river regulation began in the 18th and 19th centuries. Most of the hydraulic structures were built in the German and Austrian reach and these have the greatest impact on the river.⁵ In the whole river basin upstream Komárom, the continuity of the flow is interrupted by 1,688 hydraulic structures, of which 600 are reservoir dams. The first hydropower plants were built in the 1890s on the smaller tributaries. On the main branch of the Danube the first hydroelectric power station was built in 1927 (Kachlet–Passau) and the most recent in 1996 (Freudenau). There are 22 hydroelectric power plants on the main branch in Germany, 9 in Austria and 1 in Slovakia. The total length of the impoundment-affected sections is approximately 290 km.⁶ As it is shown in Figure 1, in the second half of the 20th century practically the entire catchment of the upper Danube is installed by an uninterrupted chain of hydropower plants. Furthermore longitudinal river regulation works were done due to navigational requirements, since the Danube River is part of the Pan-European Transport Corridor VII.⁷

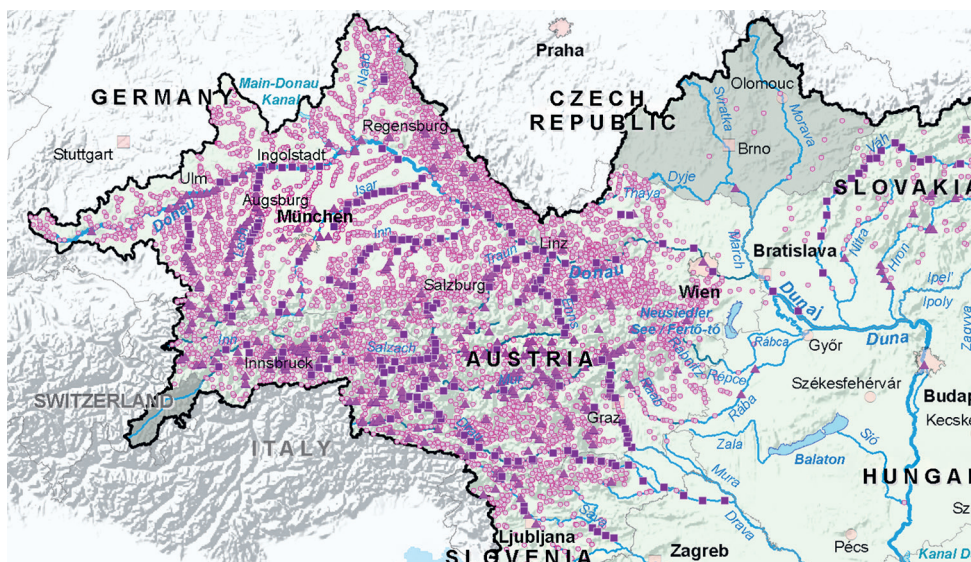


Figure 1: Hydraulic structures on the Danube and its tributaries

Source: ICPDR 2009

⁵ VADAS 2013: 267–286.

⁶ General Directorate of Water Management (OVF) 2021.

⁷ PESSENLEHNER et al. 2016.

On the other hand, there was another effect that had an almost immediate impact on the riverbed erosion on the Hungarian upper section of the river. The riverbed incision on this section was caused by the intensive dredging activities of the 1970s and 1980s.⁸ At that time, the volume of this dredging significantly exceeded the needs of river regulation, largely to meet the mineral requirements of the construction industry.⁹ The integrated effect of these circumstances caused a severe sediment deficit by changing the slope and thus the sediment transport capacity of the river by directly removing large amounts of sediment.

These hydromorphologically harmful processes caused similar phenomena in the estuary reach of the Moson-Danube and Rába too by threatening the drinking water resources, navigation and the cityscape of Győr. In this paper by using hydrological statistics methods we took a quantitative evaluation onto the magnitude of this effect.

Materials and methods

Description of the Danube River Basin upstream Komárom

The evolution of Europe's present-day river network is determined by the main European watershed between the Atlantic Ocean and the Ural Mountains, which runs approximately NW to NE. The areas to the north of the basin are flowing into the Atlantic Ocean or the Arctic Ocean and their inland seas, while the areas to the south of the basin are flowing into the Mediterranean or the Black Sea or the Caspian Sea. The Danube is the most important river in the southern basin following the Volga. It ranks 20th in length and 25th in catchment area among the world's rivers.¹⁰

The Danube conveys the waters of the southern part of central Europe into the Black Sea. The entire length of the Danube can be segmented into three characteristic reaches. Each receives the waters of some large basins: the Upper Danube, the Bavarian and the Austrian Basin, the Middle Danube the Carpathian Basin, the Lower Danube collects the waters of Wallachia, the Romanian Plain. The first two sections are separated by the Devin Gate while the Iron Gate separates the latter two. The total catchment area of the Danube River is 801,463 km², its entire length is 2,778 km (from the confluence of the Breg and Brigach) and its average estuary discharge is 6,550 m³/s.¹¹ The entire river basin of the Danube is shown in Figure 1.

⁸ EDUVIZIG 2014.

⁹ KÁROLYI 1979.

¹⁰ CIA 2023.

¹¹ ALMAZOV et al. 1963; STANCIK et al. 1988.



Figure 2: The entire river basin of the Danube

Source: Geology Page 2014

Study area

Our examination reach begins at Devín (Dévény in Hungarian), where the Danube leaves the Viennese Basin and crosses the border between the Alps and the Carpathians before leaving Bratislava and entering the Hungarian region, Kisalföld. Here it flows over a large alluvial fan, this reach of the Danube is known as “Upper Danube” in Hungary. From Bratislava to Szap, the river has a surface slope of 35–40 cm/km, and below Komárom only 8–10 cm/km.¹² As a result of the decreasing slope, the river deposits a significant part of its sediment.

The reach analysed in our study extends from the gauging station of Devín (1,875 rkm) to the gauging station (GS) of Komárom (1,768.30 rkm).¹³ The catchment area of the Komárom GS is 150,820 km². The multi-annual mean discharge increases from 1,850 m³/s to 2,100 m³/s along this reach.¹⁴ The monthly averages of the discharges at Komárom over the last 30 years are shown in Figure 2.

¹² National Atlas of Hungary 2018: 72.

¹³ General Directorate of Water Management (OVF) 2019.

¹⁴ General Directorate of Water Management (OVF) 2023.

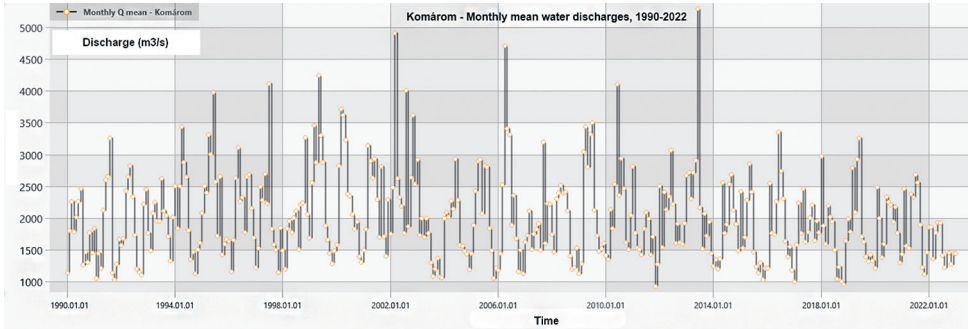


Figure 3: Discharge time series, Danube, Komárom GS
Source: General Directorate of Water Management (OVF) 2023

The Rába River is one of the most significant tributaries of the Danube in Hungary. Its origin is in Styria province of Austria, in the Fischbach Alps, at an altitude of around 1,200 m above sea level, from two branches. It crosses the Austrian–Hungarian border at Szentgotthárd, flows across the Kisalföld region of Hungary, and reaches its receiving river Moson–Danube in the city of Győr. The total length of the river is 283 km, and its reach in Hungary is 211.5 km. The catchment area is 10,270 km².¹⁵

In our study we evaluate the hydrological time series on the downstream/lowland part of the river, from Sárvár to Győr, where the Rába reaches its recipient, Moson–Danube. On this reach of the river the long-term average discharge is around 30 m³/s, at Árpás GS.¹⁶ This stations' monthly average discharge time series is shown in Figure 3. Figure 4 shows the position of the evaluated gauging stations.

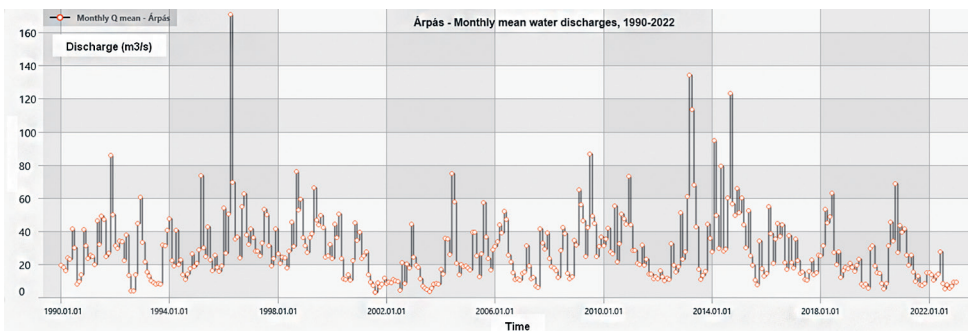


Figure 4: Discharge time series, Rába, Árpás GS
Source: General Directorate of Water Management (OVF) 2023

¹⁵ West-Transdanubian Water Directorate (NYUDUVIZIG) 2007.

¹⁶ General Directorate of Water Management (OVF) 2023.

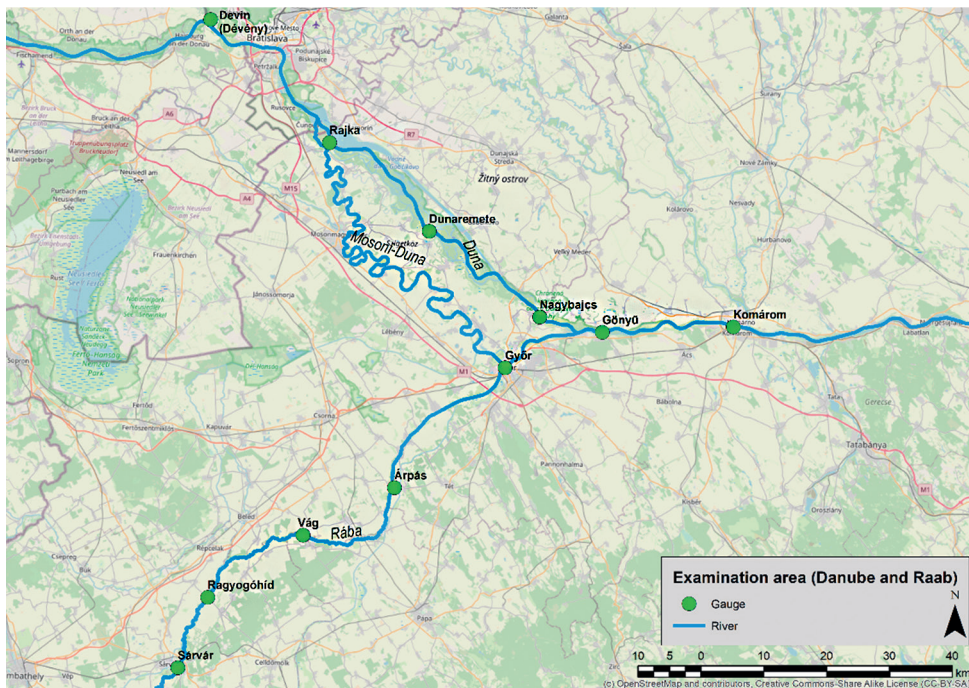


Figure 5: Overview map of the examination area

Source: ÉDUVIZIG 2023

Methods

Linear trend estimation

To estimate the effect of the riverbed incision, long-term water level and discharge time series were evaluated by using linear trend estimation based on the principle of least squares.

Principle of least squares: the function describing the relationship between the variables and its parameters are defined so that the sum of the squares of the differences between the measured dependent variable values and the values calculated by substituting the same independent variable from the relationship is minimal. In the simplest case the equation of a line is fitted to a point cloud.¹⁷

The equation of a line is:

$$y = a + b * x$$

Based on the principle of least squares, the most probable values of the parameters are: the minima of the sum of the squares of the deviations of the dependent variable calculated from the function and the measured variable.

¹⁷ HÜSE 2001.

$$Q = \sum_{j=1}^n (y_j - f(x_j))^2 = \sum_{j=1}^n (y_j - a - bx_j)^2 = \min.$$

In the equation we consider the parameters of the function (a, b) variable, and the measured value pairs x_j and y_j are fixed. The condition of minima:

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial b} &= 0; & \frac{\partial Q}{\partial b} &= \sum_{j=1}^n -2(y_j - a - bx_j)x_j = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial a} &= 0; & \frac{\partial Q}{\partial a} &= \sum_{j=1}^n -2(y_j - a - bx_j) = 0 \end{aligned}$$

these equations ordered and simplified are the following:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n x_j y_j &= b \sum_{j=1}^n x_j^2 + a \sum_{j=1}^n x_j \\ \sum_{j=1}^n y_j &= an + b \sum_{j=1}^n x_j \end{aligned}$$

In these form the 'a' and 'b' parameters can be determined directly:

$$\begin{aligned} b &= \frac{n \sum_{j=1}^n x_j y_j - \sum_{j=1}^n x_j \sum_{j=1}^n y_j}{n \sum_{j=1}^n x_j^2 - (\sum_{j=1}^n x_j)^2} = \frac{\overline{x * y} - \bar{x} * \bar{y}}{\overline{x^2} - \bar{x}^2} \\ a &= \frac{\sum_{j=1}^n y_j - b \sum_{j=1}^n x_j}{n} = \bar{y} - b * \bar{x} \end{aligned}$$

The difference between the value pairs x_j and y_j and the y values calculated from the calculated equation of the line defined by the parameters a and b is called the residue. Based on this, the residual standard deviation can be calculated with the following formula:

$$S_{res}^{*2} = \frac{\sum_{j=1}^n [(y_j - a - bx_j)^2]}{n - 2} = \frac{\sum_{j=1}^n (\Delta y_j)^2}{n - 2}$$

where $\sum_{j=1}^n (\Delta y_j)^2$ is the sum of the squares of the deviation. This quantity is the fit standard deviation and it describes the regression fit. The residual standard deviation defines a confidence interval around the regression line in both directions, which can be used to examine the quality of the fit. By using the equation of line, the standard deviation of the 'b' parameter (the slope of line) can also be determined:

$$\begin{aligned} S_b &= \frac{S_{res}^*}{S_x \sqrt{n}} = \frac{S_{res}^*}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2}} \\ S_x &= \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2}{n}} \end{aligned}$$

The confidence interval is the following:

$$b \pm t_Q * S_b$$

where

t_Q is the probability value of the distribution 't' with probability 'Q', so it can be stated with probability 1-Q, that the true value of parameter 'b' is within this interval.¹⁸

Kolmogorov–Smirnov homogeneity test

A homogeneity test is an examination of the approximation of the empirical distribution and the theoretical distribution of time series, measuring the degree of approximation (tightness, adequacy, goodness). For the purpose of the homogeneity test, the so-called Smirnov–Kolmogorov test was used. In the case of the Smirnov–Kolmogorov test, the probability of fit is calculated from the largest difference between the empirical and theoretical distribution function (d_{max} – in absolute value). The method uses the condition that parts of the data set have the same distribution as the entire data set. Therefore, the data set is divided into k and l samples (at the assumed inhomogeneity point – no measurement, break, or jump in the time series figure).¹⁹

Results

Riverbed erosion/incision on the Danube and Rába Rivers in the region

The integrated effect of the above mentioned phenomena can be shown via the analyses of historical water level and water discharge time series. The long-term water level trend analysis of Gönyű GS is shown in Figure 5, for the yearly water level minima, maxima and means.

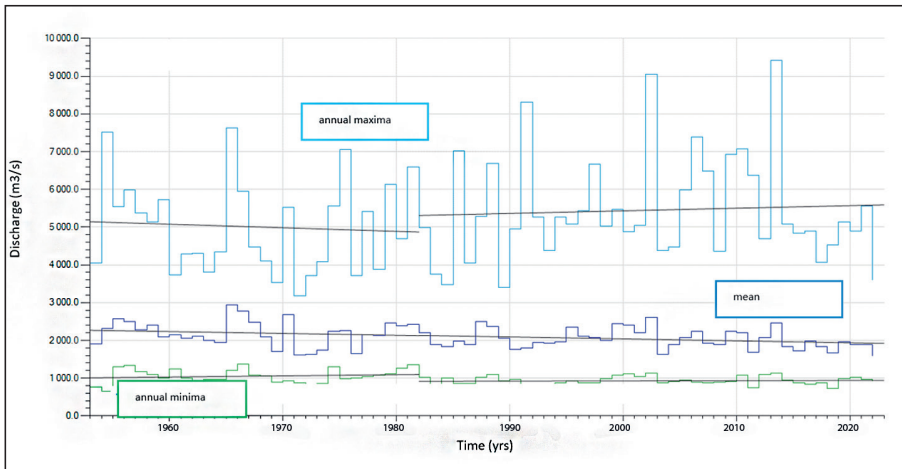


Figure 6: Water level trend analysis, Gönyű GS, 1953–2022

Source: ÉDUVIZIG 2023

¹⁸ HÜSE 2001.

¹⁹ 4iG Nyrt. 2015.

This phenomenon can be clearly observed in the annual minimum and mean water levels of the Gönyű GS by the negative slope of the linear trend line.

The effect of industrial dredging on the low and medium water levels can be illustrated by dividing the trend line into two parts. It can be seen that water levels decreased in a concentrated way over a few years in the early 1980s, due to the artificial deepening of the riverbed.

Meanwhile, there is no significant decreasing trend in annual minimum and average water discharges. These graphs for Komárom GS are shown in Figure 6.

As a result, it is safe to consider that there are morphological reasons of the decreasing water level, i.e. the incision of the riverbed.

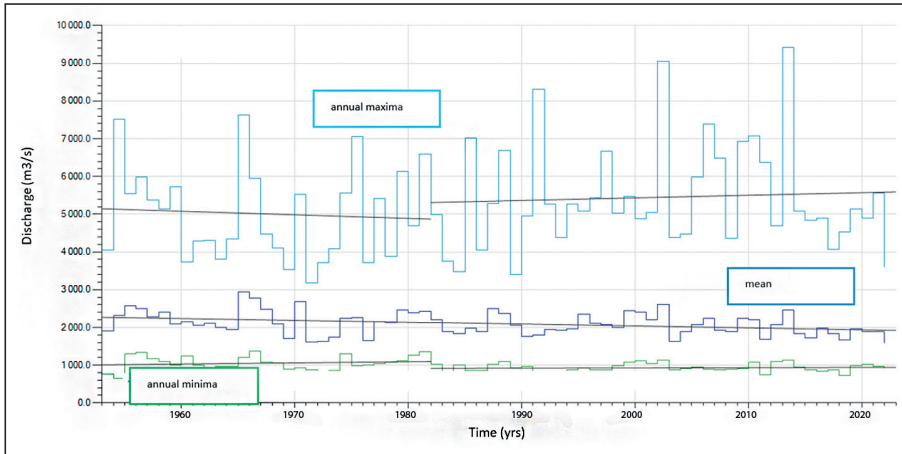


Figure 7: Water discharge trend analysis, Komárom GS, 1953–2022

Source: ÉDUVIZIG 2023

The same phenomena can be observed on the Rába at Árpás GS.

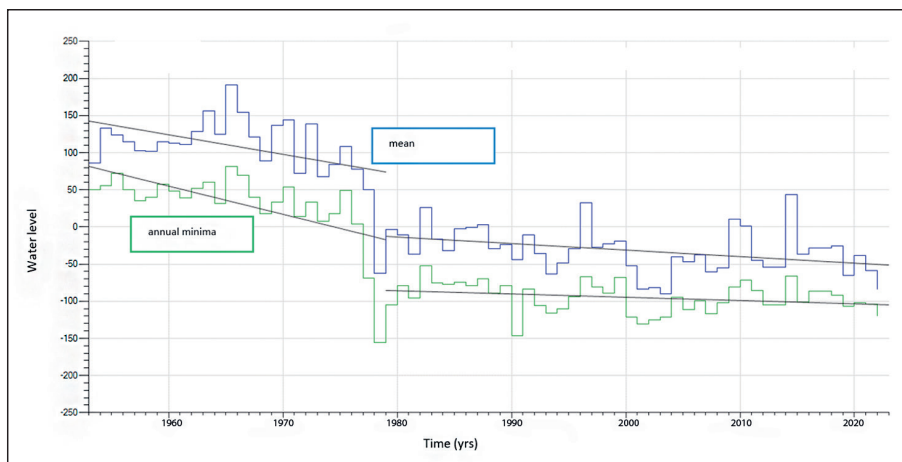


Figure 8: Water level trend analysis, Árpás GS, 1953–2022

Source: ÉDUVIZIG 2023

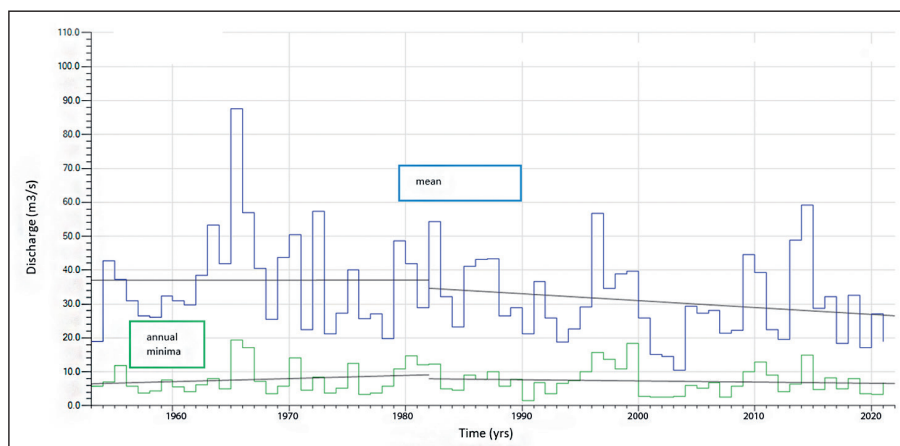


Figure 9: Water discharge trend analysis, Árpás GS, 1953–2022

Source: ÉDUVIZIG 2023

In case of the Rába River, only the low and mean water characteristics are shown due to the different magnitudes of the annual maximum water discharges. The slow decrease in the linear trend of mean water discharges on the Rába may indicate a change in the climatic conditions of the catchment, but the evaluation of this phenomenon is not the subject of the present study. The trend parameters are shown in Table 1 below.

Table 1: Water level and discharge trend parameters, Gönyű GS, Komárom and Árpás

Gönyű water level	Maxima		Mean		Minima	
Time period	1953–1981	1982–2022	1953–1981	1982–2022	1953–1981	1982–2022
Initial value, cm	613	511	296	173	121	-14
Increment, cm/year	-2.845	0.886	-1.74	-1.215	-0.487	-0.49
Increment, %/year	-0.46	0.17	-0.59	-0.70	-0.40	3.44

Árpás water level	Maxima		Mean		Minima	
Time period	1953–1979	1980–2022	1953–1979	1980–2022	1953–1979	1980–2022
Initial value, cm	409	258	148	-14	88	-84
Increment, cm/year	-3.55	-1.89	-3.23	-0.84	-4.47	-0.51
Increment, %/year	-0.87	-0.73	-2.18	5.87	-5.08	0.61

Komárom discharge	Maxima		Mean		Minima	
Time period	1953–1981	1982–2022	1953–1981	1982–2022	1953–1981	1982–2022
Initial value, m ³ /s	5145	5311	2268	2133	1009	918
Increment, m ³ /s/year	-9.43	6.86	-4.39	-5.17	3.04	0.59
Increment, %/year	-0.18	0.13	-0.21	-0.24	0.30	0.06

Árpás discharge	Maxima		Mean		Minima	
Time period	1953–1979	1980–2021	1953–1979	1980–2021	1953–1979	1980–2021
Initial value, m ³ /s	253.07	223.93	36.64	35.19	7.20	9.05
Increment, m ³ /s/year	-0.63	-1.98	0.04	-0.21	0.02	-0.07
Increment, %/year	-0.25	-0.88	0.10	-0.59	0.21	-0.78

Source: ÉDUVIZIG 2023

Homogeneity tests were also performed on the statistical sample of the hydrologic time series. The results of the Kolmogorov–Smirnov tests are shown in the next Figure (Figure 10). The different behaviour of the empirical distribution functions in case of water levels and discharges shows the effect of riverbed incision.

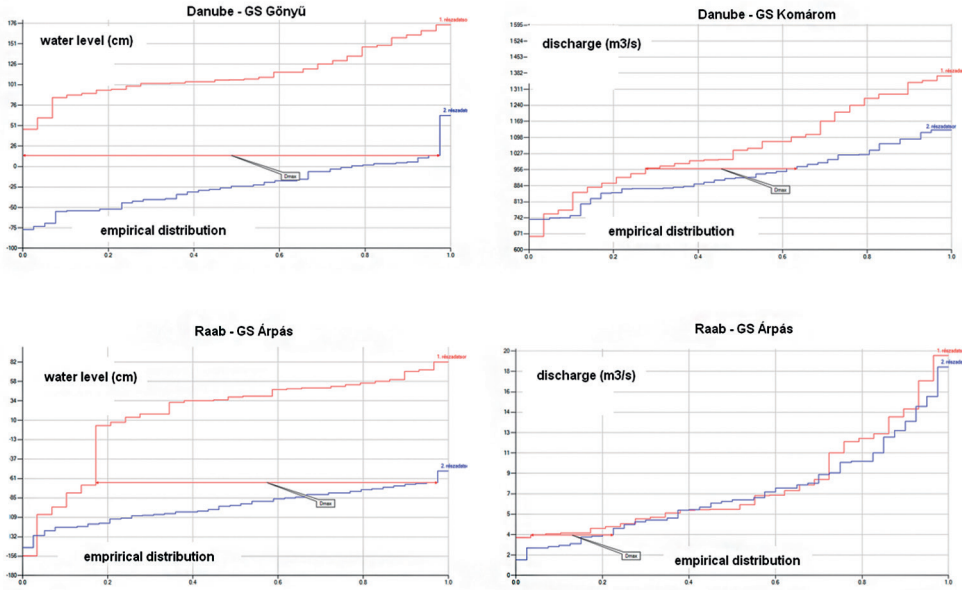


Figure 10: Kolmogorov–Smirnov homogeneity tests, Gönyű, Komárom, Árpás GS
Source: ÉDUVIZIG 2023

The numeric results of the homogeneity test are shown in Table 2.

Table 2: Numeric results of homogeneity tests, Gönyű GS, Komárom and Árpás

Kolmogorov–Smirnov homogeneity tests, parameters			Method: dividing at given year						
Time period: 1953–2022			Cutting point: 1981						
Water levels									
	Minima			Mean			Maxima		
	D_{max}	$1-L(Z)$	H.gen?	D_{max}	$1-L(Z)$	H.gen?	D_{max}	$1-L(Z)$	H.gen?
Gönyű	0.974	0.000	No	0.923	0.000	No	0.246	0.267	Yes
Komárom	0.685	0.000	No	0.616	0.000	No	0.156	0.805	Yes
Árpás	0.802	0.000	No	0.836	0.000	No	0.562	0.000	No
Discharges									
	Minima			Mean			Maxima		
	D_{max}	$1-L(Z)$	H.gen?	D_{max}	$1-L(Z)$	H.gen?	D_{max}	$1-L(Z)$	H.gen?
Komárom	0.358	0.026	No	0.373	0.018	No	0.302	0.090	Yes
Árpás	0.191	0.575	Yes	0.221	0.086	No	0.365	0.023	No

where

D_{max} – maximum absolute difference between the divided distributing functions

$1-L(Z)$ – distribution function of Kolmogorov distributed probability variable; this parameter representing the measure of homogeneity

Source: ÉDUVIZIG 2023

These two effects on the deepening of the riverbed can be illustrated by plotting the changes in the characteristic water levels and the changes in the navigation low water levels defined for the Danube.

In the following figure, the time series of the annual minimum water levels for each gauge and the characteristic data series of the annual average of the monthly minima are plotted against the 1966 navigation low water level (Étiage navigable – EN) as a reference level.

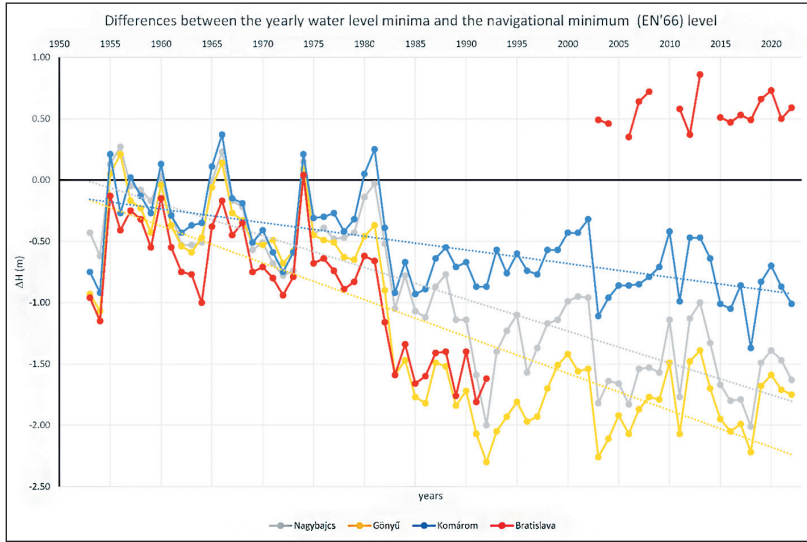


Figure 11: Water level differences compared to EN'66, 1953–2022

Source: ÉDUVIZIG 2023

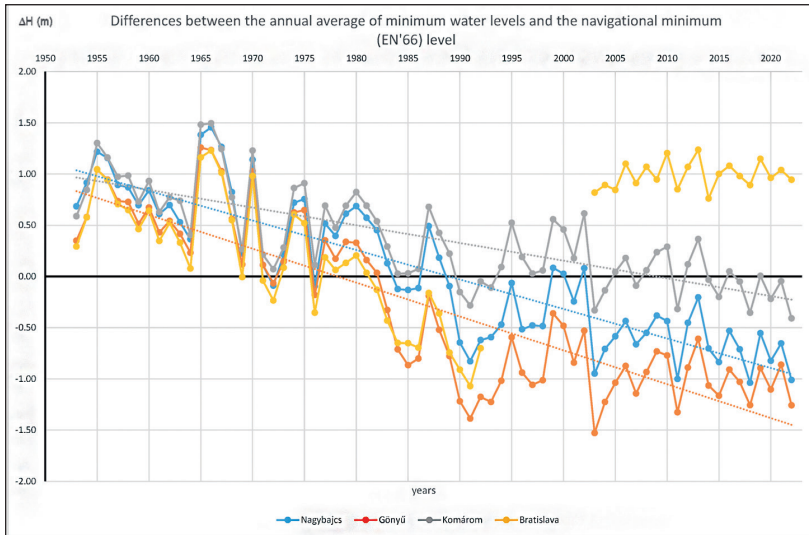


Figure 12: Water level differences compared to EN'66, 1953–2022

Source: ÉDUVIZIG 2023

The upper figure shows the deviation of the annual minimum water levels compared to EN'66. This figure also shows the significant effects of the dredging operations in the 1980s. The lower figure shows the time series of annual averages of monthly minimum water levels, which do not show significant short-term changes, but the trend indicates a clear bed subsidence, reflecting the impact of river regulation and channelisation that were performed upstream.

As a result of the construction of Gabčíkovo (Bős in Hungarian) Hydropower Plant in 1992–1993, the Bratislava gauging station became part of its dam's impoundment section, so its water levels are not following the natural water regime of the Danube.

The longitudinal changes of this difference is shown in Figure 13 for different time periods. It can be seen that the deepening of the riverbed reaches almost 2 metres at the confluence of the Moson-Danube.

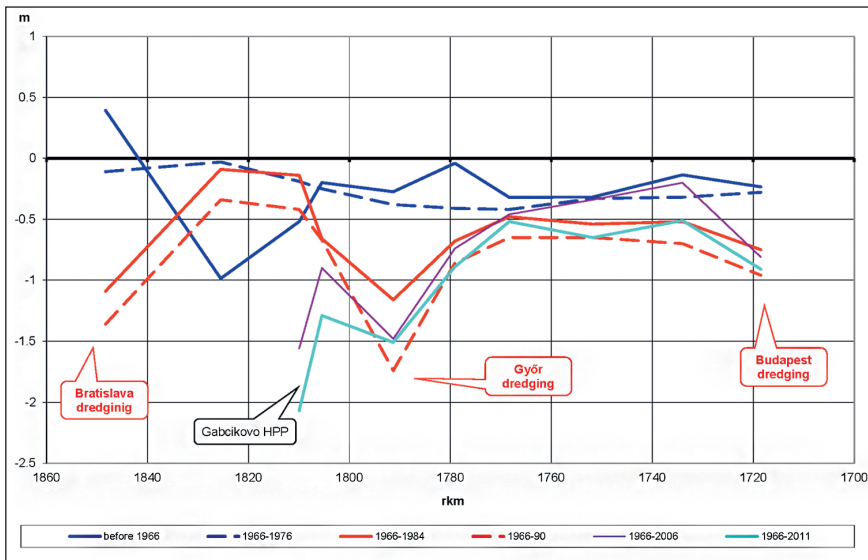


Figure 13: Longitudinal sections of water level differences compared to EN'66, 1966–2011

Source: ÉDUVIZIG 2023

The following graphs show the variation of annual minimum water levels at each GS on the Danube and the Rába over the past 70 years, based on 10-years intervals averaging as in Tamás et al. 2021. As suggested by Kalocsa and Zsuffa in their publication (1997), the decrease is shown compared to the first year of investigation, i.e. the minimum water level observed in 1950 is zero on the vertical axis. The decrease which was concluded in 1997 continued at Komárom, Nagybjacs and Gönyű stations, and the increase that was reported for the period between 1901–1990 for the Dunaremete GS has reversed and now this station shows a decrease, too.

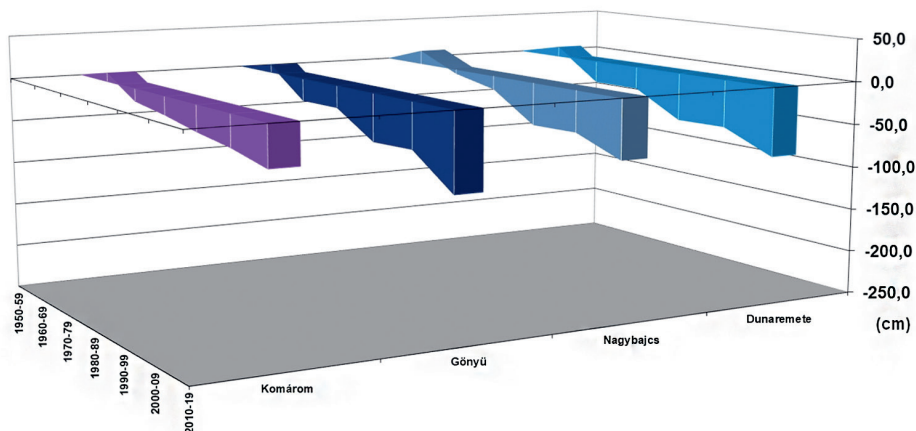


Figure 14: Integrated effect of riverbed incision and long-term changes of low water discharges on the Danube between 1950 and 2019

Source: ÉDUVIZIG 2023

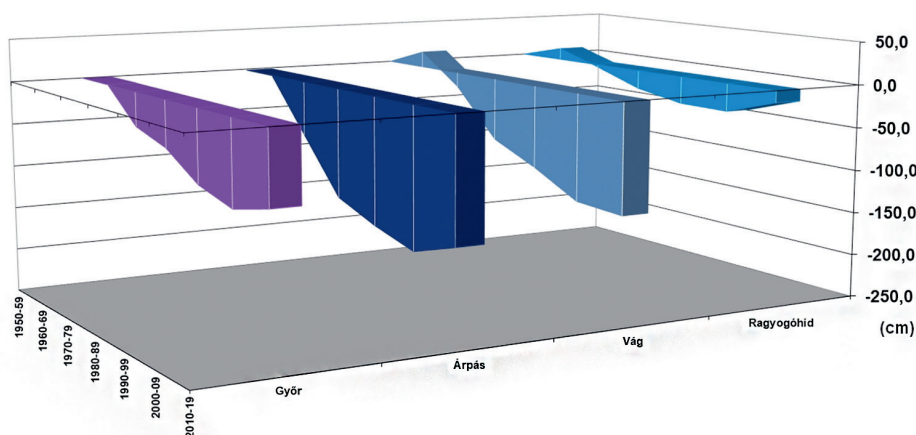


Figure 15: Integrated effect of riverbed incision and long-term changes of low water discharges on the Rába between 1950 and 2019

Source: ÉDUVIZIG 2023

Consequences of the riverbed deepening in the region

A secondary consequence of the deepening of the riverbed is the depression of groundwater levels in the area. In the section of the Danube between Szap (where the tailrace of the Gabčíkovo HPP joins the Danube) and Gönyű, where the incision of the bed is most significant, groundwater levels have also shown a significant decreasing trend in the decades since the measurements started. In Győr area, this has been more than 1 m over the last 60 years. The phenomenon is illustrated by linear trend graphs of some monitoring wells in the area.

Along the estuary of the Rába, the groundwater level is decreasing by more than 1.5 m due to the Danube's incision. At Komárom, at the lower part of the analysed Danube section, there is a slight, but detectable decrease in groundwater levels.

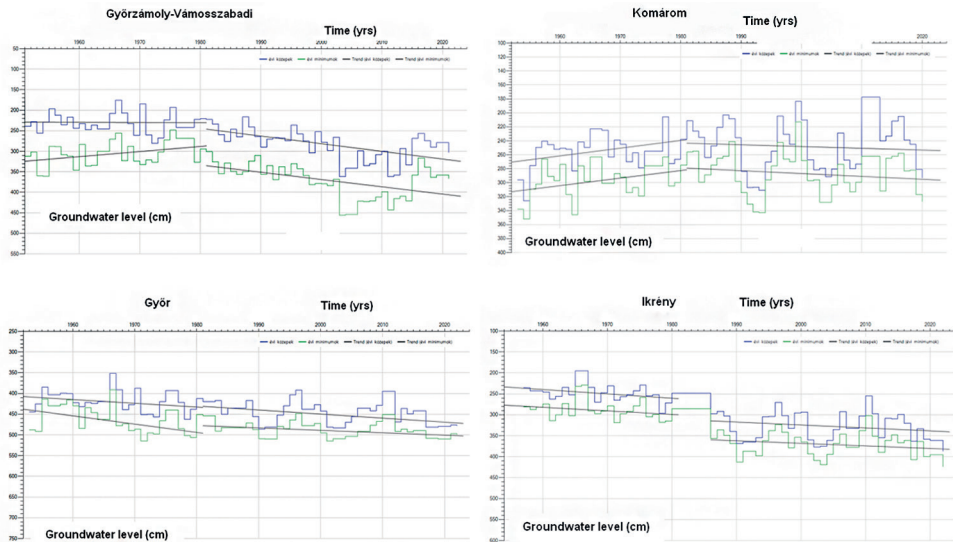


Figure 16: Groundwater trend analysis, 1953–2022
Source: ÉDUVIZIG 2023

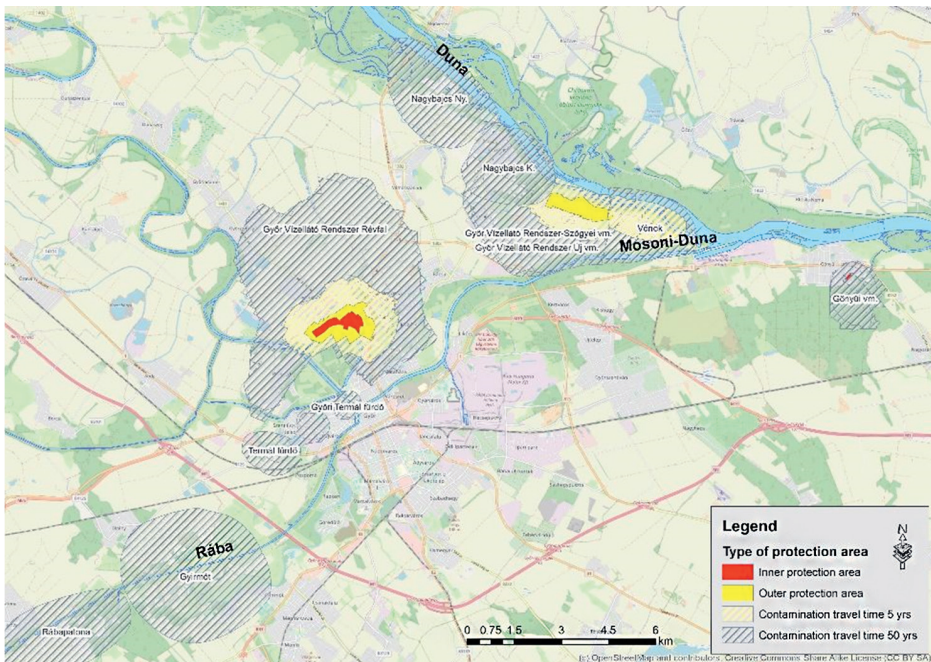


Figure 17: Overview map of aquifer protection in the Győr area
Source: ÉDUVIZIG 2023

The city of Győr is indirectly supplied with drinking water from the Danube, by using a bank filtration water supply. The water supply wells are located on the right bank of the Danube, in the area of Szőgye. The Szőgye aquifer has a protection area granted by authorisation. Its extent is shown on the map below.

The subsidence of the Danube water levels is threatening the operation of the so-called 'radial wells', which collect water from under the Danube bed and purify it through a colmated natural filter of the bed material. Thinning of this filter layer due to sediment erosion can reduce the efficiency of purification, which threatens the water supply of Győr.

The phenomenon of riverbed incision is harmful to public health, makes water transport difficult, is not aesthetically pleasing and detracts from Győr's urban image. A typical low-water cityscape of Győr is shown in Figure 18.



Figure 18: Low water level in Győr at the Rába gauging station

Source: ÉDUVIZIG 2023

A partial solution to the problem of riverbed incision – Raising the water level in the Moson-Danube estuary

Previous studies and analyses have shown that the restoration of the low and medium water levels of the Moson-Danube and the Rába estuary to the reference water levels of the 1960s is possible by constructing a complex estuary structure. The operation of the complex structure would allow the rehabilitation of wetlands, the provision of navigation, the improvement of the urban landscape of Győr and the enhancement of flood safety by providing a flood gate function.

After several years of modelling, planning, impact assessment and authorisation, the construction of this estuary structure began in 2018 within the frame of the project called: "Water level rehabilitation of the Moson-Danube's estuary reach". The construction works were finished in the first months of 2022; and after two months of test run, the estuary structure began to operate in June 2022. By the operation of this structure the water levels on the estuary reach of the Moson-Danube and Rába have been raised by almost 1.5 m. Last year

a seasonally operating rule have been worked out, in order to simulate the water regime of the 1960s, by correlating the Danube discharges at Devín with the resulting water levels in Győr.

As a result of this operation seasonally a quasi-permanent water regime can be observed in the city of Győr, as it can be seen in Figure 19.



Figure 19: Water level rehabilitation in the city of Győr at the Rába estuary
Source: ÉDUVIZIG 2023

Conclusions

This examination of the hydrological time series clearly shows that the phenomenon of bed erosion in the upper reaches of the Danube in Hungary is still a measurable phenomenon. In Austria, morphological studies and interventions in longitudinal river regulation structures have been carried out in previous years to reduce the magnitude of the phenomenon and have reported positive results.²⁰ In the estuary of the Moson-Danube and Rába, after the first year of the dam's operation, it can be seen that the water level increase solves the primary problem, but generates additional, otherwise known problems, such as the handling of the settling surplus of suspended sediment from the Rába, and sewage disposal problems in the city of Győr. The dam is of course not able to deal with the problems of the Danube riverbed incision, which process is still ongoing. The settling suspended sediment can reduce the magnitude of the erosion on the lower part of the Rába and Moson-Danube but may cause harmful side effects in case of navigation in the long term.

In addition, the flood gate function of the estuary structure in case of a major Danube flood eliminates backwater effects on the Moson-Danube, which has a negative impact on the culminating discharges of the Danube on the Gönyű–Komárom reach. The previous reservoir impact of the lower reaches of the Moson-Danube and Rába will be eliminated by

²⁰ PESSENLEHNER et al. 2016.

the operation of the Moson-Danube estuary dam, thus higher peak discharges will occur on the Danube below the estuary of the Moson-Danube. This higher discharge establishes higher water velocities and water levels, which may fasten the erosion of the sediment and the riverbed. This phenomenon should be evaluated at the next flood event as it occurs.

References

- ALMAZOV, A. et al. (1963): *Zona de vărsare a Dunării*. Monografie hidrografică. București: Editura Tehnică.
- CIA (2023): *The World Factbook – Major Rivers*. Online: www.cia.gov/the-world-factbook/field/major-rivers-by-length-in-km/
- EDUVIZIG (2014): *Nagyvízi Mederkezelési Terv 01.NMT.09*. Online: http://extranet.eduvizig.hu/nmkt/01.NMT.09.Raba.Vag-Gyor/01NMT09.1-3_muszaki%20leiras.pdf
- General Directorate of Water Management (OVF) (2023): *Havi átlagos vízhozamok adatsora, Duna-Komárom [Time series of monthly average water discharges, Danube-Komárom]* Hydrographic database (VRA) <https://vmservice.vizugy.hu/BaseDataService/api/>
- General Directorate of Water Management (OVF) (2023): *Havi átlagos vízhozamok adatsora, Rába-Árpás [Time series of monthly average water discharges, Raab-Árpás]* Hydrographic database (VRA) <https://vmservice.vizugy.hu/BaseDataService/api/>
- General Directorate of Water Management (OVF) (2019): *Paper Chart of Hungarian Danube River Section 1708.2 – 1560.6*. Online: www.danubeportal.com/application/cache/uploads/charts/paper/HU/130/1572426864.pdf
- General Directorate of Water Management (OVF) (2021): *Az előzetes árvízi kockázatbecslés, a veszély- és kockázati térképek, a kockázatkezelési tervek első felülvizsgálata Jelen állapot értékelésének összefoglalója, Közép-Duna tervezési terület [General Geographical and Flood Hydrological Characteristics of the Central Danube Planning Area]*. Online: https://vizeink.hu/wp-content/uploads/2021/05/akk/2/Kozep-Duna_osszefoglalo_2021.pdf
- Geology Page (2014): *Danube River*. Online: www.geologypage.com/2014/11/danube-river.html
- HÜSE, Zsolt (2001): *Egy- és többváltozós regresszióanalízis nemlineáris módszerei hidrológiai alkalmazásának számítógépi programja*. Szeged: ATIKÖVIZIG.
- ICPDR (2009): *Danube River Management Plan (DRBMP) 2009*. Online: www.icpdr.org/main/publications/danube-river-basin-management-plan-drbmp-2009
- KALOCSA, Béla – ZSUFFA, István (1997): *A Duna magyar szakaszának vízállásváltozásai. Hidrológiai Közlöny, 77(4), 183–192.*
- KÁROLYI, Zsigmond (1979): *A folyami kotrások története. Magyar Vízgazdálkodás, 19(6), 29–31.*
- National Atlas of Hungary (2018). Online: www.nemzetiatlasz.hu/MNA/National-Atlas-of-Hungary_Vol2_Ch6.pdf
- North-Transdanubian Water Directorate (ÉDUVIZIG) (2023): *Mosoni-Duna torkolati műtárgy ideiglenes üzemrend és üzemeltetési szabályzat, Megalapozó hidrológiai vizsgálatok [Mosoni-Danube estuary dam provisional operation and management rules, Foundational hydrologic studies]* (Available: 9021, Győr Árpád st. 28–32.)
- PESSENLEHNER, Sebastian – LIEDERMANN, Marcel – TRITTHART, Michael – GMEINER, Philipp – HABERSACK, Helmut (2016): *River Bed Degradation and Morphological Development Before and After River Restoration Measures at the Danube River East of Vienna*. Online: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/108532>
- STANCIK, S. – IOVANOVIC, Andrej – SIKORA L. – ÜRGE L. – MIKLOS D. (1988): *Hydrology of the River Danube*. Bratislava: Priroda Publishing House.

- TAMÁS, E. A. – ĐORĐEVIĆ, D. – KALOCSA, B. – VUJANOVIĆ, A. (2021): Hydrological Indicators of the Riverbed Incision along the Free-Flowing Danube River Reach from Budapest to Slankamen Relevant for the Lateral Connectivity between the River Channel and Floodplains. In CYFFKA, B. – BETZ, F. – BORGS, T. – GELHAUS, M. – STAMMEL, B. – VONTZ, M. (eds.): *Rivers and Floodplains in the Anthropocene – Upcoming Challenges in the Danube River Basin*. Proceedings of the 43rd IAD Conference, 9–11 June 2021, Neuburg. 62–69.
- VADAS, András (2013): The “Waters Leave Their Beds Frequently”: A Western-Hungarian Town and the Flooding of the Rába/Raab River in the Seventeenth Century (1600–1658). *Water History*, 5(3), 267–286. Online: <https://doi.org/10.1007/s12685-013-0087-x>
- West-Transdanubian Water Directorate (NYUDUVIZIG) (2007): *Jelentős vízgazdálkodási kérdések/ problémák azonosítása a Rába vízgyűjtő-gazdálkodási tervezési alegységen*. Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság. Online: www.nyuduvizig.hu/upload/1.1.4.Raba_kesz-bovitett.PDF
- 4iG Nyrt. (2015): *Felhasználói Kézikönyv Vízirajzi alrendszer*. *Műszaki Hidrológia-Statistikai Program-csomag*. Budapest: Országos Vízügyi Főigazgatóság.

Tartalom

BUNYITAI ÁKOS, DARUKA NORBERT: Építményszerkezetek robbantással történő ipari bontásának, katonai tönkretételének és bűnös szándékú rongálásának összehasonlítása	5
ÁMON GERGELY, BENE KATALIN: Villámárvizek kialakulásának bizonytalansági vizsgálatai feltáratlan vízgyűjtőkön	21
BALLA TIBOR, PADÁNYI JÓZSEF: Műszaki kiválóságok: vitéz dálnokfalvi Bartha Károly vezérezredes	37
ÁDÁM BALÁZS: Mesterséges intelligencia a tűzszerész-feladatokban – Tűzszerész Támogató Információs Rendszer szoftveres alapjai, 3. rész	49
SIBALIN IVÁN, KÁTAI-URBÁN LAJOS, CIMER ZSOLT: A geomérnökség lehetséges energiaipari-biztonsági vonatkozásai a környezeti fenntarthatóság keretrendszerében	63
VÉG RÓBERT LÁSZLÓ: A 4D nyomtatás és az okosanyagok alkalmazásának lehetőségei	77
HUSZÁR ZSOLT, MAJOROSNÉ LUBLÓY ÉVA ESZTER: Homlokzati állványtűzek	91
HORVÁTH-KÁLMÁN ESZTER, ELEK BARBARA, BODNÁR LÁSZLÓ, KOMLAI KRISZTINA: Építési kockázatok és kezelésük nukleáris létesítmények környezetében	103
FLÓRA HAJDÚ, PÉTER MIKA, PÉTER SZALAI, RAJMUND KUTI: Road Profile Modelling Based on Measurement for Fire Truck Simulation	117
CSABA ALMÁSI: Evolution of the Regulation of the Transport of Dangerous Goods by Road, Part 2	131
GÁBOR KERÉK, ENIKŐ ANNA TAMÁS, DOROTTYA SZÁM: The Incision of the Riverbed on the Upper Hungarian Danube and the Rába, in the Region of the Confluence of the Moson-Danube	141