



MŰSZAKI KATONAI KÖZLÖNY

Kiemelt közlemények

BALLA TIBOR, PADÁNYI JÓZSEF:
*Műszaki kiválóságok: Guggenberger
Károly címzetes vezérőrnagy*

SOMOGYI TAMÁS, NAGY RUDOLF:
*Az extrém hideg időjárás okozta
kihívások a pénzügygazathoz
tartozó létfontosságú rendszerelemek
üzemeltetésében*

ISTVÁN RAKACZKI:
Structures of the Árpád Line

35. évf. (2025)
1. szám

ISSN 2063-4986 (elektronikus)



LUDOVIKA
EGYETEMI KIADÓ

Műszaki Katonai Közlöny

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

ISSN 2063-4986 (elektronikus)

Főszerkesztő

Kovács Zoltán

Szerkesztőbizottság elnöke

Padányi József

Szerkesztőbizottság

Cibulová Klára

Daruka Norbert

Ember István

Hanka László

Hornyacsek Júlia

Horváth Tibor

Kovács Tibor

Kovács Zoltán

Kuti Rajmund

Lőrincz Árpád

Lukács László

Pavel Manas

Nagy Rudolf

Tóth Rudolf

Szerkesztőség címe

Nemzeti Közszerológati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Műveleti 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 Közszerológati Egyetem Ludovika Egyetemi Kiadó

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

1083 Budapest, Ludovika tér 2.

A kiadásért felel: Deli Gergely rektor

Olvasószerkesztők: Farkas-Nagy Judit, Fülöp Éva, Gergely Zsuzsanna, Resofszi Ágnes

Tördelőszerkesztő: Fehér Angéla



Tartalom

Balla Tibor, Padányi József Műszaki kiválóságok: Guggenberger Károly címzetes vezérőrnagy	5
Somogyi Tamás, Nagy Rudolf Az extrém hideg időjárás okozta kihívások a pénzügyághoz tartozó létfontosságú rendszerelemek üzemeltetésében	15
István Rakaczki Structures of the Árpád Line	29
Norbert Daruka, Kálmán Dénes, Zoltán Kovács, Róbert Vég, István Ember The Possibilities and Limitations of Applying 3D Printing Technology by the Engineer Troops of the Hungarian Defence Forces	47
Sebők István A 3D-nyomtatás helyének és szerepének vizsgálata a fegyverzettechnikai oktatásban ..	55
Hózer Benjámín, Pántya Péter A légzésvédelmi eszközök fejlődésének történeti áttekintése a magyar tűzoltóság és légoltalom szolgálatában a 19. és 20. század fordulóján – 3. rész, oxigénes-izoláció	63
Mohai Ágota Zsuzsanna, Szabó István László, Elek Barbara Az emberi tényezők szerepe a tűzjelző berendezések hatékonyságában	75
Bence Tóth The Effect of Railway Electrification on the Passability of Hungary	91
Benjámín Hózer, Réka Magdolna Kirovne Rácz, Lajos Kátai-Urbán Statistical Analysis of Outdoor Waste Fires in Hungary	109
Dániel Bencsik Evaluation of Nutrient Recovery Potential through Wastewater Reclamation for Irrigation	127

Balla Tibor,¹  Padányi József² 

Műszaki kiválóságok: Guggenberger Károly címzetes vezérőrnagy

Engineer Geniuses: Titular Major General Károly Guggenberger

Guggenberger Károly kitűnő iskolákat végzett, és ennek megfelelően kitűnően helytállt az első világháborúban, valamint az azt követő zavaros időkben. Nevéhez nem fűződnek nagy alkotások, de a háború minden európai hadszínterén becsülettel és magas szintű szakmaisággal szolgálta uralkodóját és hazáját. Szolgált parancsnokként és a magasabb törzsekben egyaránt. Részt vett erőszakos folyamatkezelésben, épített és bontott hadihidakat, erődített, utat épített és szervezte a műszaki támogatás összetett folyamatát. Kiváló műszaki tiszt volt.

Kulcsszavak: *útépítés, hídépítés, első világháború, orosz hadszíntér, szerb hadszíntér, olasz hadszíntér*

Károly Guggenberger graduated from excellent schools and accordingly, he served with distinction both during the First World War and turbulent times after that. Although there are no major work to his name, but he served with honour on many European fronts and worked with distinction for his king and country. He served as a commander and in various higher staff roles too. He took part in forced river crossings, built and demolished bridges, constructed fortifications and roads, and last, but not least, organised the difficult task of military engineering support. All in all, he was an excellent military engineering officer.

Keywords: *road building, bridge building, World War I, Russian Front, Serbian Front, Italian Front*

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

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

Bevezetés

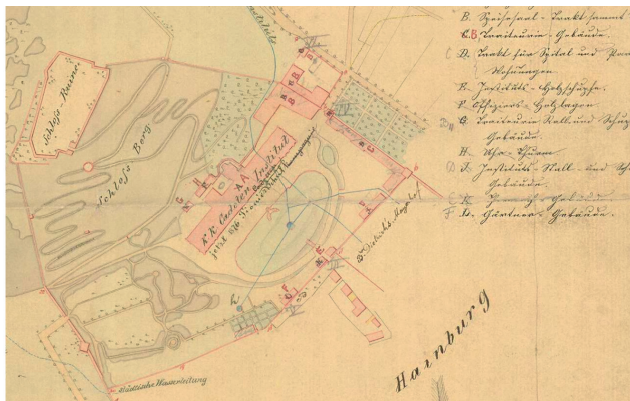
Guggenberger Károly (1. ábra) 1868. január 19-én született Alsó-Lendva településen Guggenberger Károly Vilmos és Hász Mária gyermekeként, evangélikus vallású családban. Apja császári-királyi élelmezőtiszt volt, így családi indíttatása okán érthető, ha a katonatiszti pályát választotta élethivatásként.



1. ábra: Guggenberger Károly címzetes vezérőrnagy

Forrás: JACOBI 1938: 539

A pozsonyi evangélikus líceum³ hat osztályának elvégzése után tanulmányait 1883–1887 között a császári és királyi utász hadapródiskolában folytatta Hainburgban, amelyet jó eredménnyel végzett el (2. ábra).



2. ábra: A császári és királyi utász hadapródiskola Hainburgban (vázlat 1852-ből)

Forrás: Hadtörténelmi Intézet és Múzeum [é. n.]

³ A líceum egyike volt Magyarországon legrégebbi evangélikus tanintézetekének. Kezdeti a pozsonyi evangélikus gyülekezet létrejöttének idejére nyúlnak vissza. 1606-ban, közvetlenül azután, hogy a bécsi békeszerződés engedélyezte a szabad vallásgyakorlatot mindenütt az országban, az újonnan megalakult pozsonyi evangélikus gyülekezet nemcsak lelkeszt hívott magának Németországból, hanem rektort is a célból, hogy a városban megalapítandó iskoláját vezesse. A rektor 1606. december 9-én érkezett a bajorpfalzi Lauingenből Pozsonyba, és 1607 januárjában ünnepélyesen megnyílt a pozsonyi evangélikus iskola (FUKÁRI 2002).

1897–1899 között a bécsi császári és királyi Hadiiskolát, a vezérkar szakiskoláját végezte el jó eredménnyel. Pályafutása során gondot fordított továbbképzésére, szakmai ismeretei bővítésére és készségei fejlesztésére: 1888–89-ben gyalogsági lovaglótanfolyamot végzett Pozsonyban, majd 1890–91-ben ugyanilyen tanfolyamot Linzben, mindkettőt jó eredménnyel. 1897-ben a hadtest tisztiiskolát végezte el Budapesten kiváló eredménnyel.

Nyelvtudása megfelelt a dualizmus korszakában a tisztekkel szembeni komoly elvárásoknak: magyarul és németül tökéletesen beszélt és írt, azonkívül francia és orosz nyelven is rendelkezett némi tudással.

Soha nem nősült meg, haláláig nőtlen maradt.

Pályafutása

Katonai pályafutását 1885. január 19-én kezdte gyalogusként a császári és királyi 85. gyalogezredben Kassán, miközben az utász hadapródiskolán folytatta tanulmányait. 1885. augusztus 18-án címzetes őrzetetővé, 1886. augusztus 17-én címzetes szakaszvezetővé, 1887. augusztus 17-én pedig címzetes őrmesterré nevezték ki alakulatánál. 1887. szeptember 1-jétől hadapród gyalogos címzetes őrmesterként szolgált a császári s királyi utászezredben, ahol századszolgálatot látott el Pozsonyban és Linzben. 1887. szeptember 26-án hadapród tizedes címzetes őrmesterré, 1888. december 1-jén hadapród-tiszthelyettessé, 1889. május 1-jén hadnaggyá, 1892. november 1-jén pedig főhadnaggyá nevezték ki alakulatánál. 1892. december 1-jétől a császári és királyi budapesti 5/II. műszaki zászlóaljban, 1893. január 1-jétől pedig a császári és királyi 7. tábori utásszászlóaljban (1893. május 1-jétől 7. utásszászlóaljra változott az elnevezése) szolgált Budapesten, ahol századszolgálatot látott el, illetve az alakulat egyéves önkéntesei számára indított iskola tanára volt.

1894. október 27-től a kikülönített szakasz parancsnoki teendőit látta el a Novipazari Szandzsákban található Plevljében (1879 óta a városban osztrák–magyar és török helyőrség közösen szolgált). 1895. október 18-tól ismét századszolgálatot teljesített a 7. utásszászlóaljban Budapesten (3. ábra).



3. ábra: A cs. és kir. 7. utásszászlóalj hídvérése a Dunán

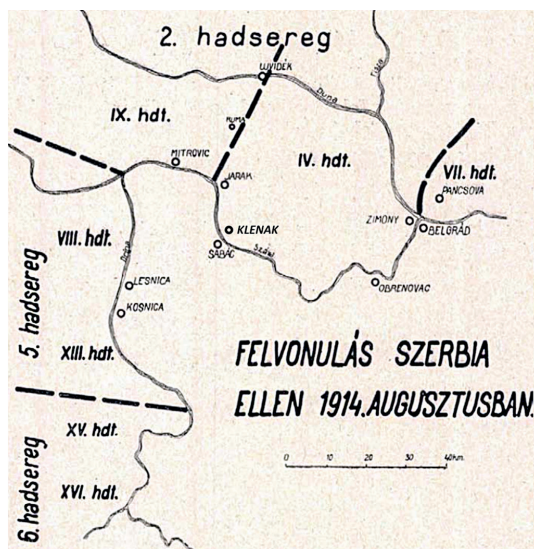
Forrás: Darabanth Aukciósház [é. n.]

1900. május 1-jén II. osztályú századossá nevezték ki, s egyúttal áthelyezték a vezérkarba. Első vezérkari beosztásába az Osztrák–Magyar Monarchia szárazföldi fegyveres erejének második vonalába, a magyar királyi Honvédséghez került, ugyanis a magyar királyi 82. honvéd gyalogdandár parancsnokság vezérkari tisztje lett Pécssett. 1901. május 9-étől a székesfehérvári V. honvédkerületi parancsnokság vezérkari osztályán folytatta szolgálatát. 1902. november 1-jétől a császári és királyi 13. utászászlóalj 5. századának parancsnokává nevezték ki Komáromba, s 1903. május 1-jén I. osztályú századossá léptették elő beosztásában. 1903. november 1-jétől a pótszázadkeret parancsnoka volt alakulatánál Komáromban.

1906. május 1-jétől a császári és királyi 1. utászászlóalj 4. századának parancsnoki teendőit látta el Pozsonyban. 1911. november 1-jén őrnaggyá nevezték ki és áthelyezték a szegedi császári és királyi 14. utászászlóalj állományába. 1912. október 1-jén alakulatát átnevezték, így onnantól kezdve a szegedi császári és királyi 7. utászászlóaljban századparancsnokként szolgált egészen 1914 nyaráig.⁴

Az első világháborúban

Az első világháború kiterésétől, 1914 augusztusától a balkáni hadszíntéren harcoló osztrák–magyar 2. hadsereg műszaki előadójaként ténykedett, majd a Monarchia 5. hadseregéhez beosztva, a klenaki Száva-átkelés irányításában vett részt (4. ábra).

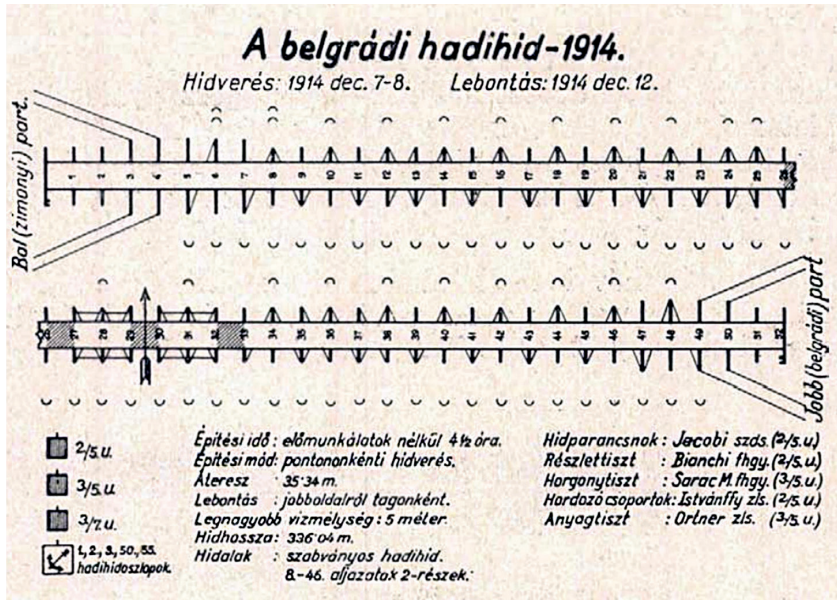


4. ábra: Az Osztrák–Magyar Monarchia haderejének helyzete 1914 augusztusában, a kép közepén a Sabac–Klenak átkelési terepszakasza

Forrás: JACOBI 1938: 89

⁴ HM HIM Hadtörténelmi Levéltár (HL), Tiszti anyakönyvi lapok (AKVI) 6405.

Ezt követően a Macsvában útépítést vezetett december végéig. Időközben, 1914. november 1-jén alezreduci kinevezést kapott. Az osztrák–magyar csapatok 1914. december elején Belgrádból történt visszavonulásakor mint műszaki vezető irányította a hadihíd lebontását, a vasúti híd felrobbantását és az utóvéd áthajózását (5. ábra).



5. ábra: A rövid életű belgrádi hadihíd vázlata

Forrás: JACOBI 1938: 98

1915 januárjától az osztrák–magyar VIII. hadtest kötelékében az útépítések vezetője volt az orosz hadszíntéren Przemysl környékén és a San mentén. A központi hatalmak 1915. május 2-án Gorlice körzetében végrehajtott frontáttörését követően több folyóátkelést vezetett, így példának okáért a San és a Wieprz folyón történt átkeléseket, a Visztula-átkelést Kazimicznél, a Bug-átkelést Gnojmo mellett, továbbá több híd építését is irányította. A csapatok mozgásszabadságának megteremtése és fenntartása meghatározó volt a siker érdekében, így az ebben részt vevő műszaki alakulatok munkáját nem lehet eléggé hangsúlyozni. A hadművelet a teljes háború összes hadszínterét is figyelembe véve az egyik legsikeresebb offenzíva volt. Ennek ellenére stratégiai célját nem minden szempontból érte el: az emberanyagban szinte kifogyhatatlan tartalékokkal rendelkező orosz hadsereget nem rendítette meg végzetesen a közel kétfélmillió veszteség, és mind Olaszország, mind Románia végül az antant oldalán lépett hadba – igaz, Bulgária részben a gorlicei siker hatására kötelezte el magát a központi hatalmak mellett.⁵

⁵ LITVÁN 2015.

1915 szeptemberében a császári és királyi VIII. hadtest műszaki referenseként ismét a balkáni hadszíntérre került, ahol a Szerbia elleni hadjáratban a belgrádi átkelés műszaki előkészítő munkáinak egy részét vezette.

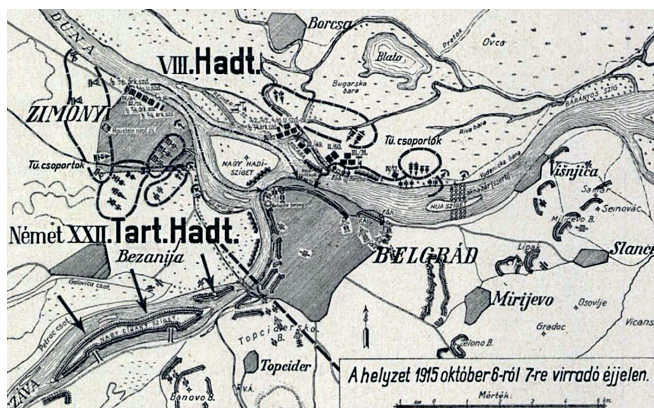
Az átkelés műszaki előkészítése és a végrehajtás műszaki támogatása jelentős erőfeszítést követelt. A Belgrádnál átkelő VIII. hadtest támadó hadosztályának egyharmada magyar katona volt. Az átkelést támogató műszaki csapatokat három felső-ausztriai és két lengyel utászszászad, két magyar árkászszászad (egy budapesti és egy komáromi), valamint egy magyar folyamaknászszászad alkotta. Az átkelés műszaki előkészítésének legfontosabb feladatai a következők voltak:

- az átkelési terepszakaszok harcászati és műszaki szemrevételezése és kiépítése;
- a tüzérségi ütegállások szemrevételezése és kiépítése;
- az átkelési eszközök és a szükséges hídanyag előkészítése;
- az átkelési terepszakaszokra vezető felvonulási utak és területek műszaki előkészítése.

A VIII. hadtest rendelkezésére álló műszaki alegységek: 5 utászszászad: 1/2., 3/2., 5/2., 1/10. és 4/10., 3 árkászszászad: 7/4., 7/6. (magyar kiegészítésűek) és 9/8.

A műszaki anyagból rendelkezésre állt: 12 hadihíd oszlop (összesen 192 pontonrész 1920 fő férőhellyel), 3 pontonjavító osztag, 60 facsónak, egyenként 10 fő részére, 14 hajó, egyenként 25–30 fő részére, 13 motorcsónak a hajók vontatásához, 6 gőzkomp (1 gőzös és 4 uszály) egyenként 2 zászlóalj, vagy 2 táborig, vagy 2 lovasszászad befogadására. Hídanyagból 350 méter állt rendelkezésre (6. ábra).

A belgrádi átkelésnél – csakúgy, mint a háború legtöbb nagyszabású folyamátkelésénél – nagyon meg kellett becsülni a műszaki katonákat és a műszaki eszközöket, mert az utánpótlás erősen korlátozott volt. Műszaki katonákban és anyagokban Belgrádnál a számvetés szerinti szükségletnek csak 70%-a állt rendelkezésre. Az átkelés folyamán a gyalogság 18%-os, az utászok 14%-os veszteséget szenvedtek. Elpusztult vagy megrongálódott a vízijárművek 40%-a.⁶



6. ábra: A hadműveleti helyzet 1915. október 6–7-én a Duna belgrádi szakaszán

Forrás: JACOBI 1938: 154

⁶ JACOBI 1938: 160.

Guggenberger Károly az offenzíva folyamán hadtestének csapataival együtt nyomult előre, ahol ismét átkelési és hídverési munkálatokat irányított a Morava folyón Čukojevac és Trstenik térségében. 1916 januárjában a Montenegró elleni győztes osztrák–magyar hadjáratban is részt vett hadteste kötelékében. 1916 februárjában seregtestével együtt Cattaróból átszállították az olasz hadszíntér dél-tiroli szakaszára, ahol az 1916. május–júniusi osztrák–magyar offenzíva műszaki előkészítésében vett részt Asiago körzetében. 1916. július 3-ától ismét az orosz harc-térre került, ahol először a Lukasz Šnjarić altábornagy vezette csoportosítás műszaki referenci feladatait látta el, azután 1916. augusztus 14-étől a császári és királyi IV. hadtest alárendelt-ségében állások építésének vezetője volt.

Ezt követően a hátsószágban, Szegeden rövid ideig katonai állomásparancsnoki teendőket látott el. Azt követően visszakerült az orosz hadszíntéren harcoló német Linsingen-hadsereghez mint az ott működő magyar műszaki csoport parancsnoka. 1916. november 12-étől az osztrák–magyar 4. hadseregearcparancsnokság, majd 1918. március 9-étől a császári és királyi 4. hadparancsnokság szállásmesteri osztályának utász és árkász referense volt az orosz hadszíntéren. Közben, 1917. május 1-jén ezredessé nevezték ki. 1918. október 1-jétől a magasabb parancsnokságok részére felállítandó tanfolyamra vezényelték Dél-Tirolba, ahol a Monarchia 1918. november eleji katonai összeomlása érte.⁷

A világháború után

1919 januárjában sok más tisztársával együtt nyugállományba helyezték. 1919. augusztus 18-ától a magyar Hadügyminisztérium 4. számú igazolóbizottságának elnökeként tevékenykedett. 1919. december 1-jétől a magyar királyi szegedi körletparancsnokság 3., majd 2. igazolóbizottságának elnöke volt. Feladatai közé tartozott a Vörös Hadseregben szolgált és a hadifogságból hazatérő tiszteket – a forradalmak és a hadifogság alatti magatartásuk vizsgálatán keresztül – igazolni, így biztosítva átvételüket a Nemzeti Hadsereg állományába, amely 1920. február 1-jén már 100 209 főt számlált: ebből 14 933 volt tiszt és 5309 altiszt.⁸

1920. március 20-ától gazdasági főtanácsosi cím birtokában az Állami Gazdasági Hivatal műszaki osztályának főnökeként ténykedett Budapesten, majd annak feloszlata után a magyar királyi Honvédelmi Minisztérium 8. osztályának rendelkezésére állt. 1920. június 17-étől vármegyei katonai parancsnok volt Szolnokon, egészen annak megszűntéig. 1921. május 1-jén újból tényleges állományba vették.

1921. július 1-jétől 1922. április 30-áig a Jász-Nagykun-Szolnok vármegye alispánja mellé beosztott népgondozó hivatal főnöke volt. Ebben a szerepben igen nagy felelősség hárult Guggenberger Károlyra, hiszen a békeszerződés megtiltotta minden, a mozgósítás előkészítésével, a hadkötelesek nyilvántartásával foglalkozó szervezet működését. Ez szinte kizárta annak lehetőségét, hogy a tiltott hadihadrendhez szükséges tartalékállomány kiépíthető legyen.

A népgondozó kirendeltségek feladatai közé tartozott az állományvezetés, a nyilvántartás és az ezzel kapcsolatos ügyek, a vitézi telkek, hadiárvak, hadirokkantak nyilvántartása, valamint

⁷ JACOBI 1938: 504–505.

⁸ LIGETI 2020: 273.

a világháborúra vonatkozó iratok és muzeális tárgyak gyűjtése és egyéb, külön rendeletekkel szabályozott ügyek. Bevezették a kettős iktatást, ami egy „közönséges (ngk)” és egy „bizalmas (biz. ngk)” iktatóból állt. A bizalmas iktatót csak a népgondozó kirendeltség vezetője bonthatta fel. De az előzőkben felsorolt „fedő feladatok” mellett a legfontosabbak – az új hadkiegészítési forma – a toborzás érdekében végzett tevékenységek voltak, így a hadköteles nyilvántartás és a toborzás, ami a törvényhatóságok egyik fő feladata volt. Azaz a népgondozó kirendeltség közreműködött a hadsereg kiegészítésében – vagy pontosabban fogalmazva: ellátta a toborzási feladatokat, átvéve ezzel a volt kiegészítő, illetve a vármegyei katonai parancsnokságok szerepét.⁹

Közben 1921. november 1-jén a trianoni békediktátum aláírása következtében nyugállományba helyezték. 1923. május 1-jén véglegesen nyugállományba helyezték, azt követően a Budapest VIII. kerületi Üllői út 66/a II/2. alatti lakásban élt. 1923. július 1-jétől 246 000 korona nyugdíjat folyósítottak számára.¹⁰ 1928-ban címzetes tábornoki (vagyis vezérőrnagyi) kinevezést kapott. A halála előtti utolsó időszakban Zánkán élt egyik hűgával, aki ápolta őt. 1941. április 7-én hunyt el Budapesten a XII. kerületi Királyhágó út 1. alatt, szívbénulás és agyvérzés következtében. A budapesti Farkasréti temetőben temették el, 1941. április 10-én.¹¹ A végső nyughelyének megtalálására irányuló erőfeszítéseink először nem vezettek eredményre, a Farkasréti temető elektronikus és manuális nyilvántartásában nincs nyoma Guggenberger Károly sírhelyének. Ugyanakkor rábukkantunk egy internetes forrásra, amely alapján sikerült azonosítanunk a sírhelyet: a régi katonatemető (52. VK2. parcella) 3–4. helyén van jelezve.

Ismereteink szerint egyetlen írásművet sem hagyott az utókorra.

Szakmai tehetségét több osztrák–magyar kitüntetés adományozásával is elismerték. 1898. november 30-ától a Bronz Katonai Érdemérmét piros szalagon, 1898. december 2-ától a Jubileumi Emlékérmét a fegyveres erő számára, 1908. december 2-ától a Katonai Jubileumi Keresztet, 1910-től a Katonai Tiszti Szolgálati Jel III. osztályát, 1913-tól az 1912–13. évi Mozgósítási Keresztet, 1915. július 8-ától a Katonai Érdemkereszt III. osztályát hadidíszítménnyel, 1916. február 19-étől a Bronz Katonai Érdemérmét hadidíszítménnyel és hadiszalagon, 1917 szeptemberétől az Ezüst Katonai Érdemérmét hadidíszítménnyel (7. ábra), valamint 1917-től a Károly Csapatkeresztet viselhetette. A külföldi kitüntetések közül a Német Vaskereszt II. osztályának birtokosa volt.¹²

A fentiekén kívül a császári és királyi hadügyminiszter 1904. július 3-án dicsérő elismerésben részesítette kiváló szolgálatait.¹³

⁹ FÖLDESI 2020: 118.

¹⁰ Az összeg vásárlóerejét mutatják a következő adatok 1924-ből: 1 kg búza, finomlisztből 8000 korona; 1 kg burgonya 2200 korona; 1 kg rizs 8000 korona; 1 kg fűszerpaprika 50 000 korona; 1 kg kockacukor 15 800 korona; 1 kg marhahús 30 000 korona; 1 kg sertéshús 42 000 korona; 1 liter tej 5800 korona; 1 kg kenyér 7800 korona; 1 kg só 5150 korona; 1 mázsza kőszén 68 000 korona. Forrás: OTPédia 2020.

¹¹ HL Honvédelmi Minisztérium általános 4. osztály 1941.

¹² HL AKVI 6405; JACOBI 1938: 505; STEINER 1992: 101.

¹³ HL AKVI 6405.



7. ábra: Ezüst Katonai Érdemérem hadiszalagon, kardokkal

Forrás: Tóth Numizmatika [é. n.]

Felhasznált irodalom

- Darabanth Aukciósház [é. n.]: *Budapest XXII. Nagytétény, Üdvözet a cs. és kir. 7. utász zászlóalj Tétényi hídveréséről, átkelés a hadihídon, Molnár Ágostonné kiadása (EK)*. Online: <https://www.darabanth.com/hu/gyorsarveres/264/kategoriak~Kepeslapok/Magyarország~200025/Budapest-XXII-Nagy-teteny-Udvozet-a-cs-es-kir-7-utasz-zaszloalj-Tetenyi-hidvereser-II1318267>
- FÖLDESI Ferenc (2020): Fejezetek a területi katonai igazgatási rendszer történetéből. *Honvédségi Szemle*, 148(1), 114–135. Online: <https://doi.org/10.35926/HSZ.2020.1.9>
- FUKÁRI Valéria (2002): Fejezetek a pozsonyi evangélikus líceum szellemi örökségéből. A XIX. század vége, a XX. század eleje. *Kalligram*, 11(3). Online: <https://www.kalligramoz.eu/Kalligram/Archivum/2002/XI.-evf.-2002.-marcius/Fejezetek-a-pozsonyi-evangelikus-liceum-szellemi-oe-roeksegebol>
- Hadtörténeti Intézet és Múzeum [é. n.]: *Hainburg térképe az utász-hadapród iskola jelölésével 1852-ben*. Online: <https://maps.hungaricana.hu/hu/HTITerkeptar/35310/>
- HM HIM Hadtörténelmi Levéltár Budapest, Tiszti anyakönyvi lapok 6405.
- HM HIM Hadtörténelmi Levéltár Budapest, Honvédelmi Minisztérium általános 4. osztály 1941.
- JACOBI Ágost szerk. (1938): *Magyar műszaki parancsnokságok, csapatok és alakulatok a világháborúban*. Budapest: Közlekedési Nyomda Kft.
- LIGETI Dávid (2020): A magyar haderő a változó politikai viszonyok között (1918–1919). In HERMANN Róbert – LIGETI Dávid (szerk.): *1919 – A nagy szétesés. Tudományos konferenciák az Országgházban*. Budapest: Országgház Könyvkiadó, 257–274.
- LITVÁN Dániel (2015): Felemás siker volt a gorlicei átkelés. *Index*, 2015. május 2. Online: https://index.hu/tudomany/tortenelem/2015/05/02/felemas_siker_volt_a_gorlicei_attores/
- OTPédia (2020): *Korona: békeidők terméke, amit tönkretett a háború*. Online: https://www.otpedia.hu/egyszer-volt/penz-magyarul/korona-bekeidok-termeke-amit-tonkretett-a-haboru_2/
- STEINER, Jörg C. (1992): *Schematismus der Generale und Obersten der k.u.k. Armee*. Stand: 31. Dezember 1918. Wien: Edition S&H.
- Tóth Numizmatika [é. n.]: *Ezüst Katonai Érdemérem hadiszalagon kardokkal*. Online: <https://www.remshop.hu/ezust-katonai-erdemerem-hadiszalagon-kardokkal.html>

Somogyi Tamás,¹  Nagy Rudolf² 

Az extrém hideg időjárás okozta kihívások a pénzügyághoz tartozó létfontosságú rendszerelemek üzemeltetésében

Challenges in Extreme Cold in the Operation of Banking Industry's Critical Infrastructure

Az éghajlatváltozás hatásai közül a hőhullámok, valamint az átlag- és maximum hőmérsékletek emelkedésének következményei képezik a kutatások tárgyát. Kevésbé tárgyalt terület az extrém hideg időjárás következménye, amely hazánkban a jövőben is előfordul az éghajlatváltozás egyik mellékhatásaként. Az extrém hideg időjárási körülményekre való felkészülést támogató cikkünk első részében a közelmúlt esetei alapján azonosítjuk ezen időjárás hatásait. Ezt követően a pénzügyághoz tartozó létfontosságú rendszerelemként azonosított szolgáltatásainak példáján keresztül áttekintjük a kapcsolódó kihívásokat. Javaslatot fogalmazunk meg olyan lépésekre, amelyek segítik az infrastruktúra üzemeltetését, az alkalmazottak munkavégzését, valamint az értékszállítás végrehajtását extrém hideg időjárási körülmények között.

Kulcsszavak: extrém hideg, létfontosságú rendszerelem, pénzügyághoz

Studies of the effects of climate change are focusing on heatwaves and the increase of the average and maximum temperature. Scant attention has been paid to the extreme cold and its impact. This phenomena is likely to occur in the future in Hungary as an effect of the changing climate. Our paper aims to support the preparation for the extreme cold, thus in the first part its effects will be explored. In the second part, the challenges faced by the banking industry will be introduced. Recommendations will be provided aiming to support the facility management, to ensure the essential services and the physical money transfer during extreme cold.

Keywords: extreme cold, critical infrastructure, banking industry

¹ Doktori hallgató, Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola, e-mail: somogyit588@gmail.com

² Adjunktus, Óbudai Egyetem Bányászati és Biztonságtudományi Mérnöki Kar, e-mail: nagy.rudolf@bgk.uni-obuda.hu

Bevezetés

Napjaink legfőbb társadalmi, gazdasági és biztonsági kihívásainak általában az éghajlatváltozást, az édesvízhez való hozzáférést és a hulladékkezelést tartják.³ Kétségtelen, hogy a legnagyobb biztonsági kihívások között kell említeni hazánkban is az éghajlatváltozást, ugyanis hatásai közvetlen és közvetett módon fenyegetést jelentenek az emberéletre⁴ és az épített környezetre⁵ egyaránt. A biztonságtudomány és a katasztrófavédelem számára központi kérdéssé vált a klímaváltozás hatásainak témája.⁶ Ennek megfelelően megjelentek a környezetbiztonsági kérdések és a megfelelő válaszokat célzó kutatások.⁷

Földünk éghajlata felmelegedő periódusban van, amelyet alátámaszt a földfelszín és a vizek hőmérsékletének emelkedése.⁸ Ez a felmelegedés egyfelől az északi féltekén az évszakonként megszokottakhoz képesti extrém hőmérsékletek gyakoribbá válását okozza.⁹ Másfelől fokozza a természeti veszélyeket, amelyek közül a Kárpát-medencében releváns a lejtős tömegmozgás (geofizikai veszély), az extrém eső, hóvihár és homokvihár (ezek konvektív légmozgással kapcsolatos veszélyek), valamint az árvíz és villámárvíz (mint hidrológiai veszélyek).¹⁰

A klímaváltozás mindezen hatásai fenyegetést jelentenek az infrastruktúrára, azon belül a létfontosságú rendszeremekre és ezek üzemeltetésére.¹¹ Továbbá kihívást jelentenek a természeti veszélyek bekövetkeztét előre jelző és a következményeinek felszámolását célzó eljárások, eszközök és szervek számára,¹² így folyamatos kutatást és fejlesztést indukálnak.¹³ A klímaváltozás a mai nemzeti biztonsági stratégiákban is megjelenik mint az ország értékeit és a lakosságot veszélyeztető tényező.¹⁴ Felkészülésként a normális körülmények között nem kezelhető természeti csapásokra különleges jogrendi keret jött létre.¹⁵ Látható tehát a felkészülés kiemelkedő fontossága, az ellenálló képesség fokozásának jelentősége.

A klímaváltozás fokozta extrém hőmérsékleti körülmények közül elsősorban az egyre gyakoribbá váló hóhullámok képezik a kutatások többségének tárgyát, hiszen a 2000-es években a korábbi melegrekordoknál magasabb hőmérsékleteket tapasztalhattunk.¹⁶ Ugyanakkor a néhány napon vagy héten át tartó extrém hideg hőmérséklet¹⁷ is az éghajlatváltozás hatásai között szerepel. Az extrém hideg időjárás közép-európai megjelenésének reális veszélyét támasztja alá az európai és közép-európai időjárási adatok elemzésével Owczarek és Tomczyk.¹⁸

³ DARVAY–NEMCSÓK–FERENCZY 2016.

⁴ PETRÁNYI 2024.

⁵ GROMEK 2021.

⁶ TEKNŐS 2023.

⁷ FÖLDI–PADÁNYI 2021.

⁸ PISANO et al. 2020; PETRÁNYI 2023.

⁹ JOHNSON et al. 2018; FÖLDI–HALÁSZ 2019.

¹⁰ SOMOGYI 2022.

¹¹ NAGY 2010.

¹² NAGY–HALÁSZ 2008; LAKATOS–VASS–TEKNŐS 2023.

¹³ HORVÁTH–TÓTH 2022; TÓTH 2023.

¹⁴ RESPERGER–SZOLGA 2022.

¹⁵ UNGVÁRI–SABJANICS 2021.

¹⁶ BOKROS–LAKATOS 2022.

¹⁷ A *Kutatási módszertan* című részben határozzuk meg az extrém hideg hőmérsékletet.

¹⁸ OWCZAREK–TOMCZYK 2022.

A Kárpát-medencére vonatkozó előrejelzések szerint 2050-ig, illetve 2100-ig a fagyos napok és az extrém hideg napok száma csökkenni fog, de nem tűnik el.¹⁹ Azaz kijelenthető, hogy az extrém hideg időjárásra hazánkban és régióinkban is fel kell készülni. Az igaz, hogy rendkívül hideg téli napok a Kárpát-medencében minden korszakban előfordultak. Például a tatárjárás idején az extrém hideg télnek tulajdonítják, hogy a pestisjárvány csak kevés áldozatot szedett.²⁰ Mindazonáltal a hideg évszak vége ünnep volt nálunk és a környező népeknél is, sőt, a tél elűzését jelképező szokásokra is találunk példákat.²¹ Ebből következtethetünk arra, hogy a hideg évszak megviselte az embereket és terhet rótt a közösségekre. Azonban fontos megjegyezni, hogy a biztonság érzése és tudata mindig is alapvető fontosságú volt az emberek számára,²² különösen igaz ez természeti veszélyek vagy csapások esetében.²³ Ezekre felkészülni alapvető fontosságú, különösen akkor, ha ezen veszélyek gyakoribbá és súlyosabbá válása valószínűsíthető az éghajlatváltozás következményeként.

Látható tehát a klímaváltozás létfontosságú rendszerelemek üzemeltetésére gyakorolt hatása csökkentésének a jelentősége és a reziliencia fokozásának fontossága, amely a biztonságtudomány nem elhanyagolható területe. A reziliencia széles körben használt, multidiszciplináris fogalom, Nováky szerint a biztonság területén belül olyan képességként definiálható, amely az egyén és a közösség szintjén támogatja az azonnali reagálást és az ellenálló képesség hatékonyságát.²⁴ Tanulmányunk a biztonságtudomány ezen területéhez kíván hozzájárulni azzal, hogy bemutassa a pénzügyághoz tartozó létfontosságú rendszerelem kihívásait extrém hideg időjárási körülmények között, és javaslatot fogalmaz meg a szolgáltatásfolytonosság fokozása érdekében. Megállapításainkat hasznosíthatják a pénzügyághoz tartozó szereplői, továbbá más ágazatok létfontosságú rendszerelemeinek üzemeltetői.

Kutatási módszertan

Kutatásunk tárgya az extrém hideg időjárási körülmények hatása a pénzügyághoz tartozó létfontosságú rendszerelem üzemeltetésére. Extrém hidegnek nevezzük cikkünkben azt az időjárási helyzetet, amikor a hőmérséklet -15 °C alá csökken. A meteorológiai szolgálatnál ez az első szintű veszélyjelzés határa, és – mint azt bemutatjuk majd – ilyen alacsony hőmérséklet során megjelenő egyéb időjárási események (például csapadék) további nehézségeket okozhatnak.

Kutatásunk célja kettős. Egyfelől, hogy azonosítsuk és bemutassuk a kihívásokat, amelyekkel az üzemeltetők szembesülnek ilyen időjárási körülmények közepette. Másfelől, hogy olyan lépésekre tegyünk javaslatot, amelyek az alapvető szolgáltatásokkal kapcsolatos, extrém hideg előidézte jelentős zavar vagy rendkívüli esemény bekövetkezési valószínűségének és hatásának csökkentését célzó felkészülést fokozhatják. Kvantitatív kutatásunkat szolgáltatási szempontú

¹⁹ MEGYERI-KOROTAJ et al. 2023.

²⁰ KÁSLER 2016.

²¹ VEHRER 2012.

²² KOLLÁR 2022.

²³ SZAKALI-SZÚCS 2020.

²⁴ NOVÁKY 2023.

megközelítéssel végeztük: a pénzügyágnak a 2012. évi CLXVI. törvény 1. sz. mellékletében meghatározott alágazathoz kapcsolódó szolgáltatásokból indultunk ki.

Kutatásunk során figyelembe vettük a hazai és nemzetközi szakirodalmat; a Kárpát-medence éghajlati változásait tárgyaló kutatási eredményeket; valamint a létfontosságú rendszeremekre vonatkozó jogszabályokat (amelyeket Bakos összegez).²⁵ Így támaszkodtunk *A pénzügyi ágazathoz tartozó létfontosságú rendszerek és létesítmények azonosításáról, kijelöléséről és védelméről* szóló 330/2015. (XI. 10.) Korm. rendeletre és *A létfontosságú rendszerek és létesítmények azonosításáról, kijelöléséről és védelméről* szóló 2012. évi CLXVI. törvény végrehajtásáról szóló 65/2013. (III. 8.) Korm. rendeletre.

Külön megemlítjük továbbá a tizenegy ágazatra, köztük a pénzügyágnak is kiterjedő, az alapvető szolgáltatások rezilienciája fejlesztését célzó *Critical Entities Resilience Directive* (CER) irányelvet, amelyet 2026. július 17-től egységesen alkalmazni kell az Európai Unió területén. Ugyanígy említeni kell az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2022/2554 rendeletét a pénzügyi ágazat digitális működési rezilienciájáról (DORA), amely az európai uniós pénzügyágnak számára 2025. január 17-től írja elő a digitális működési reziliencia egységes magas szintjének elérése érdekében kötelezően végrehajtandó lépéseket. Bár kutatásunk idején sem a CER, sem a DORA nem lépett még hatályba, azok közeljövőben kötelezően alkalmazandó előírásait is figyelembe vettük tanulmányunk készítésekor.

Kutatásunkat 2024. november 15-én zártuk.

Az extrém hideg időjárás és hatásai az infrastruktúrára

Mezősi a természeti veszélyeket tárgyaló könyvében írja, hogy a téli időszakban az északi féltekén két hidegpólus alakul ki, egy Grönland térségében és egy Szibéria felett.²⁶ Ezeket a hideg légtömegeket melegebb légáramlatok zárják körbe. Ugyanakkor előfordul, hogy ezek a melegebb légáramlatok nem tudják északon tartani a masszív hideg légtömegeket, azok kitörnek déli irányba. Ekkor az extrém hideg levegő képes elárasztani Észak-Amerikát, illetve Európát. Mezősi szerint a klímaváltozás hatására ezek az említett melegebb légáramlatok meggyengülnek, így nagyobb hideg légtömegek képesek délre jutni, hideghullámot eredményezve (cserébe meleg légtömeg kerül északra, így ott ezzel párhuzamosan hóhullám észlelhető). A teljesség kedvéért megemlítjük, hogy az extrém hideg megjelenésének egy másik oka Mezősi szerint a vulkáni tevékenység, amely során a légkörbe jutó nagy mennyiségű por és hamu (részben) megakadályozza a Nap besugárzását, valamint melegítő hatását.

Az extrém hideg időjárás infrastruktúrára vonatkozó következményeit tekintve a legnagyobb probléma az áramkimaradás. Az energiaellátást érintő széles körű zavar gazdasági, társadalmi következményei óriásiak lehetnek.²⁷ Az áramellátás zavarai hatással vannak egyfelől az informatikai rendszerek üzemelésére, másfelől az épületüzemeltetésre. Ez utóbbi a megfelelő munkakörülmények biztosítása és az épületet károsító fagykár²⁸ megelőzése szempontjából elengedhetetlen.

²⁵ BAKOS 2024.

²⁶ MEZŐSI 2021.

²⁷ KISS–MOLNÁR 2024.

²⁸ ÉRCES–VASS–AMBRUSZ 2023.

Dél-Korea elmúlt évtizedeinek példáját vizsgálva kiderül, hogy a téli extrém hideg időjárás napjaiban érte el az éves csúcspot az áramfogyasztás.²⁹ Azaz a nyári hóhullámokhoz képest is nagyobb áramigény merült fel az extrém hideg időszakában – ennek kielégítése bizonytalan, így a létfontosságú rendszerlemek esetében a felkészülés elmaradhatatlan. Az áramkimaradást okozó szélsőséges hideg időjárás hatásaira példát adnak a 2021. februári események Texasban. Közel 4,5 millió háztartás tapasztalt néhány órától pár napig tartó áramkimaradást, miközben a mobiltelefonok cellaadatai alapján az emberek mozgása lecsökkent és az otthon töltött idő megnőtt.³⁰ Lényeges kiemelni, hogy a háztartások általában védtelenek az áramkimaradással szemben. Ráadásul egy kanadai kutatás szerint az emberek nem tudják vagy nem hajlandók kifizetni azt az összeget, amelyet szakértők becsültek egy ház vagy lakás napokig tartó áramkimaradással szembeni védelmére.³¹ Az extrém hideg időjárás alatti áramkimaradás veszélyének így az otthonok kitéttek. Ez hatással van a létfontosságú rendszerlemek működésére is, amennyiben az azok üzemeltetésében dolgozók távmunkában végzik feladataikat. Kijelenthető tehát, hogy az áramellátás biztosításának kérdésköre kiemelt jelentőségű.³²

Az extrém hideg időjárás során tapasztalható fűtési szükség okozta áramigény hirtelen növekedése mellett az áramkimaradásokhoz hozzájárulhat az energetikai infrastruktúrában keletkező sérülés is. Horváth és Simon hazai esetekkel illusztrálják az extrém hideg időjárás alatt vegyes halmazállapotú csapadék áramellátási infrastruktúrát károsító hatását.³³ 2017 januárjában hazánkban szokatlanul hideg volt, a beáramló sarkvidéki hideg levegő hatására a minimum hőmérséklet -15 Celsius-fok alá süllyedt. Január 12-én egy mediterrán ciklon átmeneti enyhülést és intenzív havazást hozott. Ugyanakkor a rendkívül hideg időszakban lehült tereptárgyak, az intenzíven hulló vizes hó és az élénk szél kedvező tapadási körülményt alakított ki a vizes hó számára. A tapadó hó súlyát a települések közötti 20 kV-os hálózat kábelelei helyenként nem bírták el és elszakadtak, illetve a faágak sem bírták el a súlyt, így rádőléssel szakadást okoztak. Összességében körülbelül ötven település maradt pár napra áram nélkül. A tapadó hó mellett másik veszélyes helyzet az ónos eső és a hó együttes hatása, amelyre példaként hozható 2016 januárja. A hazánk északkeleti részébe betörő sarkvidéki levegő átfagyasztotta a talajt és lehűtötte a tereptárgyakat, ugyanakkor az Adria felől érkező mediterrán ciklon enyhe és nedves levegőt hozott a Kárpát-medencébe. 2016. január 6-ára a felsőbb légrétegekbe meleg és nedves levegő jutott, míg a talajhoz közel fagyos levegő rekedt. Ez a helyzet az ónos eső feltételeit teremtette meg. Január 6-án ónos eső esett hazánkban, majd a mediterrán ciklon távozásával visszahűlő levegő hatására január 7-én havazás következett be. A vezetékekre és fákra fagyó ónos esőre hulló hó olyan nagy súlyt jelentett, amely széles körű vezetékszakadást okozott a déli és a középső országrészben. Ehhez hasonló esemény zajlott le 2014. december 1-jén is, amikor az ónos esőt követő havazás a Gödöllői-dombságon és az Északi-középhegységben okozott károkat. Ekkor a 20 kV-os hálózat mellett a 400 kV-os gerinchálózat is megsérült, mivel néhol a tartóoszlopok eltörték az összességében

²⁹ KIM-LEE 2019.

³⁰ ZHOU et al. 2024.

³¹ GREEN-MIGNACCA – ROSTAMI – BUCKING 2023.

³² WATSON et al. 2022; MOLNÁR 2023.

³³ HORVÁTH-SIMON 2019.

oszloponként néhány tonna súlyú hóréteg alatt. Mindezen példák kiválóan szemléltetik, hogy az extrém hideg időszakban kialakulhat kedvező tapadási feltétel a lehulló csapadék számára, ami így vezetékszakadást és farádólést okoz, ezzel károsítva az áramellátást biztosító hálózatot.

A fentiekből látható, hogy az extrém hideg időjárás áramkimaradásokat idéz elő és közlekedési nehézségeket okoz. A leghidegebb két hónap december és január.³⁴ Az 1. táblázat láttatja, hogy ezen hónapokban a legkisebb minimum hőmérsékleti rekordjait nemcsak az 1900-as években mérték, hanem még a 2000-es években is tapasztalhattunk minimum rekordokat (például 2017. január 8-án). Ezen számadatok, valamint a fentebb bemutatott kutatási eredmények alapján kijelenthető, hogy a jövőben is számolni kell az extrém hideg időjárással hazánkban. Ez pedig alátámasztja kutatási témánk jelentőségét és időszerűségét. Felmerül a kérdés ugyanis, hogy az áramkimaradások és közlekedési fennakadások milyen kihívások elé állítják a létfontosságú rendszerelemek üzemeltetőit, és milyen javaslatok fogalmazhatóak meg az ellenálló képesség fokozása érdekében. Kutatásunk témájának megfelelően a következő rész a pénzügyágazathoz tartozó rendszerelemek tekintetében keresi a választ ezen kérdésekre.

1. táblázat: Napi országos minimum hőmérséklet hazánkban

December											
Nap	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Hőmérséklet (Celsius-fok) és az évszám	-22 1925	-19,4 1973	-26,4 1973	-23,2 1925	-25,5 1925	-21 1925	-22 1925	-20,5 1925	-24,5 1925	-23 1933	-20,7 1902
Nap	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Hőmérséklet (Celsius-fok) és az évszám	-24 1902	-25,2 1902	-28 1902	-26,2 1902	-27 1902	-24,6 1940	-23,9 1963	-24 1963	-22,6 1933	-26 1927	-27 1927
Nap	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
Hőmérséklet (Celsius-fok) és az évszám	-24,2 1933	-26,6 1963	-26,1 2001	-28,3 2002	-25,2 1996	-27,7 1996	-24,9 1937	-23 1937	-26 1923		
Január											
Nap	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Hőmérséklet (Celsius-fok) és az évszám	-24,2 1969	-22,7 1905	-25 1954	-27,5 1938	-26,2 1947	-26,5 1938	-24,6 1947	-28,1 2017	-27,5 1985	-28,1 1893	-28 1940
Nap	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Hőmérséklet (Celsius-fok) és az évszám	-31,9 2003	-30,3 1987	-28 1893	-27,5 1942	-29,5 1942	-27 1964	-24,6 1942	-27,5 1942	-26,5 1940	-28,2 1942	-31,2 1942
Nap	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
Hőmérséklet (Celsius-fok) és az évszám	-30 1942	-34,1 1942	-30,5 1942	-29,5 1942	-28,5 1942	-29 1954	-26 1947	-27,5 1950	-27,8 1987		

Forrás: a szerzők szerkesztése az Országos Meteorológiai Szolgálat adatbázisa alapján

³⁴ LAKATOS–BOKROS 2024.

Az extrém hideg időjárás okozta kihívások a pénzügyághoz tartozó létfontosságú rendszerelemek üzemeltetésében

Magyarországon az élet és anyagi javak védelmének, valamint a létfontosságú rendszerelemek működése biztosításának rendszerét a 2012. évi CLXVI. törvény adja. Ez a jogszabály az 1. sz. mellékletében sorolja fel azon ágazatokat és alágazatokat, amelyek létfontosságú rendszer-elemként szolgálnak. A pénzügyághoz tartozó alábbi három szolgáltatás része hazánk létfontosságú rendszerlemeinek:

- pénzügyi eszközök kereskedelmi, fizetési, valamint klíring- és elszámolási infrastruktúrái és rendszerei;
- bank- és hitelintézeti biztonság;
- készpénzellátás.

Az extrém hideg időjárás körülmények során jelentkező kihívásokat ezen három alapvető szolgáltatás biztosításának példáján keresztül mutatjuk be. Fontos kiemelni, hogy ezek a szolgáltatások országos lefedettségűek. Extrém hideg okozta problémákkal tehát a pénzügyághoz tartozó létfontosságú rendszerelem üzemeltetői szembesülhetnek akkor is, ha ez a szélsőséges időjárás és hatásai az országnak csak egy-két régióját érintik.

A fentebb említett 330/2015-ös kormányrendelet, amely a pénzügyághoz tartozó létfontosságú rendszerelemek védelmét is megalapozza, a 7/A.§ és 7/C.§ pontjában meghatározza a *rendkívüli esemény* és a *jelentős üzemzavar* fogalmát a fenti alapszolgáltatások tekintetében. Ezek alapján jelentős üzemzavarnak tekintendő többek között az olyan esemény, amely vagy a működés, illetve az integritás olyan nagyfokú sérelmével jár, hogy lehetetlenné teszi a normál ügymenetet [7/A.§ a) pontja], vagy a banki elektronikus csatornában előreláthatólag 1 órát meghaladó kiesést, esetleg a normál szolgáltatási szinttől elmaradó szolgáltatást eredményez [7/A.§ d) pontja]. A 7/C.§ szerinti rendkívüli eseménynek tekinthetőek többek között:

- az alapfeladatának ellátását biztosító informatikai és infokommunikációs rendszerek vagy közművek olyan kiesése, amely előreláthatóan 1 órán belül nem pótolható [7/C.§ b) pontja];
- az előreláthatóan 1 órát meghaladó kiesés vagy a normál szolgáltatási szinttől elmaradó szolgáltatás a banki elektronikus csatornák és ATM-hálózat tekintetében [7/C.§ c) pontja];
- az előreláthatóan 24 órát meghaladó kiesés vagy a normál szolgáltatási szinttől elmaradó szolgáltatás a lakosság készpénzellátásában [7/C.§ d) pontja];
- a humánerőforrás olyan mértékű kritikus hiánya, ami a tevékenység leállításához, szüneteltetéséhez vezethet [7/C.§ f) pontja].

Ezek alapján kijelenthető, hogy az extrém hideg időjárás körülmények előidézte áramkimaradás és közlekedési fennakadás a pénzügyághoz tartozó létfontosságú rendszerelemek tekintetében jelentős üzemzavart vagy rendkívüli eseményt okozhatnak. Ugyanis a pénzügyághoz tartozó alapvető szolgáltatásai megkínávják az informatikai rendszerek működését, az alkalmazottak (legalább a kritikus munkakörben dolgozók) munkavégzését, továbbá a helyszínek megközelítését extrém hideg időjárás körülmények között is. Az első jelentőségét az elektronikus

fizetés és bankkártya-elfogadás adja, az utóbbi jelentőségét pedig a készpénzellátás, hiszen az elsősorban a pénztárral működő bankfiókokban és ATM-automatáknál zajlik.³⁵ Mindebből következően extrém hideg időjárás esetén is biztosítani kell 1. az adatközpontok működését, 2. az épületekben (székházban, bankfiókban) a munkavégzéshez szükséges körülményeket, 3. az alkalmazottak (kimondottan a kritikus munkakört betöltők) munkába jutását, valamint 4. az értékszállítást a bankfiókba és ATM-automatákhoz, legalábbis nagy részük esetében. A továbbiakban ezt a négy kihívást tárgyaljuk részleteiben, kockázatcsökkentő, rezilienciát fokozó lépéseket is javasolva.

Az adatközpontok működtetése extrém hidegben

Az informatikai rendszerek működését biztosító adatközpontokban, szervertermekben alapvető fontosságú a hőmérséklet, a páratartalom és a pormennyiség előírt értékek között tartása. Ezért szélsőségesen hideg időjárás során is működtetni kell a megfelelő körülményeket biztosító épületüzemeltetési rendszereket. Az adatközpontokban a minimum hőmérséklet az eszközök gyártói ajánlására épülő iparági gyakorlat szerint 18–20 Celsius-fok közötti.³⁶ A folyamatos áramellátás biztosítása ezért nemcsak az IT-eszközök és szerverek, hanem az épületüzemeltetési eszközök számára is elengedhetetlen. Ez az esetleges áramkimaradások esetére való felkészüléssel és a megoldások rendszeres valósághű tesztelésével valósítható meg. Vagyis az üzemfolytonosság biztosítását célzó intézkedéseket tartalmazó üzemeltetői biztonsági tervben,³⁷ valamint a tesztelési gyakorlatok tervezésekor erre a scenárióra való felkészülésre is ki kell térni. Javasolható továbbá a katasztrófavédelmi szerv által szervezett komplex gyakorlat keretében rendszeresen modellezni az extrém hideg időjárás körülményeket.

Fentebb bemutatunk valós eseteket, amelyek során az áramellátást biztosító hálózat károsodott, és a teljes helyreállítás napokig is eltartott. Igaz ugyan, hogy az adatközpontok áramellátása jellemzően több irányból történik, ugyanakkor egy egész régiót érintő üzemzavar kihatással lehet az adatközpontokra is. Felmerül tehát az eshetősége annak, hogy az adatközpontoknak akár napokon keresztül kell saját generátoraikra támaszkodva üzemelniük. Egy ilyen helyzetre való felkészülés kapacitásbővítést követelhet meg a generátorok és az üzemanyagforrások tekintetében. Extrém hideg időjárás során, amikor a közlekedésben is fennakadások tapasztalhatók, az üzemanyag azonnali beszerzése kétséges lehet.

Egy adatközpont áramkimaradása miatti IT-szolgáltatás kiesésének kockázata csökkenthető egy másik adatközpont erőforrásainak használatával, amennyiben a pénzügyintézet rendelkezik olyan adatközponttal, amelyik esetleg nem érintett az extrém hideg időjárás

³⁵ SOMOGYI 2023.

³⁶ ZHANG-LI-WANG 2023.

³⁷ Az üzemeltetői biztonsági terv tartalmát előírja a 2012. évi CLXVI. törvény 6.§ (4) bekezdése: „Az üzemeltetői biztonsági terv tartalmazza a létfontosságú rendszerelemeket, szolgáltatásokat és azt a szervezeti és eszköz-rendszert, amely biztosítja azok védelmét. Az üzemeltetői biztonsági terv a kockázatelemzés, kockázatkezelés figyelembevételével megjelöli azokat a biztonsági intézkedéseket, amelyek kialakítása és működtetése biztosítja az európai létfontosságú rendszerelem vagy a nemzeti létfontosságú rendszerelem védelmét, üzemfolytonosságát és működésének helyreállítását, továbbá meghatározza azokat az ideiglenes intézkedéseket, amelyeket a különböző kockázati és veszélyszinteknek megfelelően foganatosítani kell.”

következményeiben. Kockázatelemzés során vizsgálni lehet az európai testvérbankok közötti együttműködést adatközponti erőforrások megosztása szempontjából. A rendkívüli időjárás körülmények és természeti csapások általában előre jelezhetőek, így felmerülhet kockázatcsökkentő lépésként az IT-rendszereknek az adatközpontok közötti – ideiglenes – átkapcsolása.

Az irodaterék és a bankfiókok munkakörülményeinek biztosítása

Igazolt, hogy a rendkívüli időjárás, természeti csapás csökkenti az egyén munkateljesítményét és rontja a vállalat hatékonyságát.³⁸ Az egyén munkateljesítményének a csökkenését befolyásolja az úgynevezett pszichológiai tőke, amely énhatékonyságból, optimizmusból, reményből és rezilienciából áll.³⁹ Többszörös tehát az indokoltsága a megfelelő munkakörülmények biztosításának extrém hideg időjárás körülmények között is. Fel kell tehát készülni az irodáknak otthont adó épületek áramszünetek alatti üzemeltetésére: fűtésére, világítására, az IT-eszközök áramigényének kielégítésére, a használati meleg víz biztosítására. Több épület rendelkezésre állása esetén kockázatcsökkentő lépés lehet átmenetileg biztonságosabb régiókban lévő épületbe átirányítani a létfontosságú rendszer elemek üzemeltetésében kritikus munkakört betöltő alkalmazottakat. Lehetséges ugyanis, hogy egy másik régióban lévő vagy kisebb méretű irodaház extrém hidegben történő üzemeltetése könnyebben, kevesebb erőforrással megvalósítható.

A távmunka elterjedésével felmerülhet a kérdés, hogy valóban szükséges-e extrém hideg időjárás körülmények között is üzemeltetni irodateret, székházat. Kétségtelen, hogy távmunkában lehetséges bizonyos feladatok ellátása, amennyiben az otthoni körülmények ezt lehetővé teszik. Ugyanakkor bizonyos feladatok az eszközigényük miatt irodához kötöttek, továbbá létezhetnek olyan feladatok is, amelyek végzését távmunkában a munkáltató nem engedélyezi. A létfontosságú rendszer elemek üzemeltetőinek fel kell mérniük, hogy mely feladatokat engedélyezik távmunkában elvégezni rendkívüli körülmények között (ez a lista különbözhet a normál körülmények között engedélyezett listájától). A munkáltatónak számolnia kell továbbá azzal is, hogy az extrém hideg időjárás körülmények között a kritikus munkakörben foglalkoztatottak közül esetleg nem mindenki képes távmunkában ellátni feladatait. Egy áramszünet a lakóépületeket is érinti, így a lakások fűtése és áramellátása bizonytalanná válhat. A fenti példa is alátámasztja, hogy egy létfontosságú rendszer elem üzemeltetőjének székháza áramkimaradásokkal szemben ellenállóbb, mint egy lakóépület. Előfordulhat ezért, hogy valaki rendszeresen dolgozik ugyan távmunka keretei között, extrém hideg időjárás körülmények között mégsem lesz képes a lakásában a szükséges munkakörülményeket biztosítani. Kijelenthető tehát, hogy fel kell készülni egy, legalább a kritikus munkakörben foglalkoztatottakat kiszolgálni képes reziliens irodater extrém hideg időjárás körülmények közötti üzemeltetésére.

Meg kell említeni a pénzügyágazatban létező speciális irodatereteket, a bankfiókokat, amelyek kulcsszerepet játszanak a készpénzellátásban, valamint személyes segítséget nyújtanak

³⁸ Li et al. 2023.

³⁹ SZABÓ–FODOR 2020.

az elektronikus banki alapszolgáltatások biztonságos használatában, és növelik a lakosság pénzügyi tudatosságát.⁴⁰ A bankfiókok egymástól eltérő helyiségekben, eltérő körülmények között működnek. Léteznek bankfiókok modern bevásárlóközpontokban és műemléki épületekben, kisebb településeken és nagyvárosokban. Az ingatlanok adottságai mellett a tulajdonosok is eltérők. Változatos tehát a bankfiókok hálózata, így rezilienciájuk is. Extrém hideg időjárási körülmények alatt egyes bankfiókok üzemeltetése ellehetetlenülhet. A hazai pénzügyágazat szereplői meghatároznak úgynevezett kulcsfiókokat, amelyek rendkívüli helyzetek esetén felkészültebbek, így folyamatos nyitvatartásuk biztosítható. A kisebb bankfiókoknál azonban előfordulhat átmeneti bezárás, amennyiben üzemeltetésük megoldhatatlanná válik.

Az alkalmazottak helyszíni munkavégzése, közlekedése

A fenti példák mutatják, hogy az extrém hideg időjárás hatásai között szerepelhet közlekedési fennakadás is. Ez befolyásolhatja az alkalmazottak, köztük a kritikus munkakört betöltők eljutását otthonukból munkahelyükre és fordítva. Felmerül tehát annak kockázata, hogy valaki nem tudja időben megközelíteni munkahelyét, az irodateret vagy a bankfiókot, miközben munkáját távmunkában sem tudja ellátni. Ennek a kockázatnak a csökkentésére javasolt helyettesítési rendet felállítani, annak működését tesztekkel igazolni, valamint rendkívüli helyzetekben folyamatosan aktualizálni.

Ezen felül meg kell vizsgálni a lehetőségét és tervet kell készíteni arra az esetre, ha átmenetileg kisebb létszámmal, túlóra elrendelésével kell ellátni az alapvető szolgáltatásokat biztosító folyamatokat. Bankfióki alkalmazottak esetében felmerül annak lehetősége, hogy ha összességében kisebb alkalmazotti létszám érhető el, akkor bankfiókok nyitvatartásának átmeneti rövidítésével, mégis két helyszínen, időben egymás után ki tudjon nyitni a bankfiók, és az ügyfeleket ezáltal ki tudja szolgálni, amennyiben az adott bankfiókok áramellátása és működőképessége megoldott.

Az értékszállítás biztosítása, a bankfiókok és az ATM-automaták megközelítése

A pénzügyágazat alapvető szolgáltatásai közé tartozik a készpénzellátás biztosítása és a bankbiztonság. Ezért az ATM-automaták és pénztárral rendelkező bankfiókok többségének a megközelítése és üzemeltetése létfontosságú. Az értékszállítás és vagyonzbiztonság feladatát tehát extrém hideg időjárási körülmények között is végre kell hajtani. Ugyanakkor a közlekedésben fennakadások valószínűsíthetők, így fel kell készülni baleset, útakadály, útlezárás miatti kerülőúton való eljutásra, illetve hosszabb menetidőre. Két kihívást kell megemlíteni ezzel kapcsolatban. Egyrészt baleset, útszűkület, útlezárás mindig nagy kockázati tényező a pénz- és értékszállítás során.⁴¹ Másrészt az extrém hideg időjárási körülmények miatt a személyzetnek megfelelő védőruházatot kell biztosítani,⁴² valamint üzemanyaggal és folyadékkal

⁴⁰ CSISZÁRIK-KOCSIR – VARGA – BAGÓ 2024.

⁴¹ BEREK–BEREK–BEREK 2016.

⁴² PADÁNYI 2022.

készülni kell a hosszabb menetidőre, esetleg kényszerű állásidőre. Kutyás szolgálat esetén az ebek részére is gondoskodni kell védőruházatról.⁴³

Következtetések és összefoglalás

Miután a közelmúlt megtörtént esetei alapján feltártuk az extrém hideg időjárás hatásait (áramellátásban fennakadás és közlekedési nehézség), a pénzügyágazathoz tartozó létfontosságú rendszerelem példáján keresztül áttekintettük azon kihívásokat, amelyeket ezen szélsőséges időjárási körülmények okoznak. A kihívások kezeléséhez és a reziliencia növelésére javaslatokat is megfogalmaztunk. A pénzügyágazat alapvető szolgáltatásainak folytonos nyújtása érdekében biztosítani kell az IT-rendszereket kiszolgáló adatközpontok működését; a székházban és bankfiókban a munkavégzéshez szükséges körülményeket; az alkalmazottak (különösen a kritikus munkakörben dolgozók) munkába jutását; továbbá az értékszállítást és vagyonvédelmet. Ezen szolgáltatások biztosítása érdekében szolgáltatásszempontrú kockázatelemzéssel, kockázatsökkentő lépések meghozatalával, az üzemeltetői biztonsági terv kiegészítésével és tesztgyakorlatokkal kell felkészülni az áramellátás és a közlekedés fennakadása jelentette veszélyekre. Hatósági oldalról a komplex gyakorlatok során az extrém hideg időjárási körülmények szimulálása, modellezése, majd az ezek alapján szerzett tapasztalatok megosztása és közös elemzése segítheti a felkészültséget és reagálóképességet növelését.

Fontos hangsúlyozni, hogy tanulmányunkban a pénzügyágazat alapvető szolgáltatásaiból indultunk ki, a szolgáltatás szempontjából elemeztük az extrém hideg támasztotta kihívásokat. A fentebb említett, közeljövőben alkalmazandó EU-s jogszabályok, a CER és a DORA is szolgáltatásszempontrú megközelítést alkalmaznak, és megkövetelik a szervezettől a kockázatalapú megközelítést.⁴⁴ A feltárt kihívások megfelelő kezeléséhez tett javaslataink illeszkednek ezen szemlélethez, így véleményünk szerint azok alkalmazása a közeljövő jogszabályi követelményeivel összhangban van.

A létfontosságú rendszerelemeket veszélyeztető extrém hideg hatásaival szembeni ellenálló képesség fejlesztése új módszertant követel meg: a szervezetben az átfogó kockázatelemzést és kockázatkezelést az illetékes hatóságokkal együttműködve a komplex gyakorlatok keretében. Hiányos, csak egy-egy részterületre koncentráló kockázatkezelés és gyakorlat nem biztosítja a szolgáltatásszempontrú, rendszerszemléletű kockázatkezelést.

Igazolt, hogy az extrém hideg időjárás a jövőben is valószínű hazánkban és régióinkban. Az ilyen szélsőséges időjárásra való megfelelő felkészülés, a reziliencia növelése elengedhetetlen. Ezt támogató tanulmányunk következtetései nemcsak a pénzügyágazatban, hanem más ágazatokban működő létfontosságú rendszerelem üzemeltetője, továbbá a katasztrófavédelmi szervek számára is hasznosak lehetnek.

⁴³ PAPP 2021.

⁴⁴ AMBRUSZ–DOBOR–VÁSÁRHELYI 2024.

Felhasznált irodalom

- AMBRUSZ József – DOBOR József – VÁSÁRHELYI Örs (2024): Létfontosságú rendszerek, - rendszerelemek rezilienciájának fejlesztési lehetőségei az Európai Unió direktíváinak tükrében. *Polgári Védelmi Szemle*, 16, 57–69. Online: https://mpvsz.hu/pv_szemlek/pvszemle2024/index.html
- BAKOS Tamás (2024): A létfontosságú rendszerek azonosításáról, kijelöléséről és védelméről szóló hatályos magyar jogi dokumentumok. *Műszaki Katonai Közlöny*, 34(Klsz.), 217–231. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2024.ksz.17>
- BEREK Lajos – BEREK Tamás – BEREK László (2016): *Személy- és vagyónvédelem*. Budapest: Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar.
- BOKROS Kinga – LAKATOS Mónika (2022): Hőségperiódusok vizsgálata Budapesten a XX. század elejétől napjainkig. *Léggör*, 67(4), 181–232. Online: <https://doi.org/10.56474/legkor.2022.4.4>
- CSISZÁRIK-KOCSIR Ágnes – VARGA János – BAGÓ Péter (2024): A pénzügyi tudatosság rejtett magatartásbéli jellemzői a magyar lakosság körében. *Vezetéstudomány*, 55(9), 72–81. Online: <https://doi.org/10.14267/VEZTUD.2024.09.06>
- DARVAY Sarolt – NEMCSÓK János – FERENCZY Áron (2016): Fenntartható fejlődés. *Polgári Szemle*, 12(4–6), 88–104. Online: https://polgariszemle.hu/images/content/pdf/psz_2016_4-6.szam_7.pdf
- ÉRCES Gergő – VASS Gyula – AMBRUSZ József (2023): Épületek károsító hatásokkal szembeni rezilienciájának jellemzői. *Polgári Védelmi Szemle*, 15(Klsz.), 117–130. Online: https://mpvsz.hu/pv_szemlek/pvszemle2023/index.html
- FÖLDI, László – HALÁSZ, László (2019): New Tendencies in Global Climate Change and Their Effects on the Climate of Hungary. *Hadmérnök*, 14(1), 99–107. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2019.1.9>
- FÖLDI László – PADÁNYI József (2021): Környezetbiztonsági kihívások a haderők számára. In GÖCZE István (szerk.): *Az egyházak és a katonai erők előtt álló kihívások, az együttműködés lehetőségei*. Budapest: Magyarországi Egyházak Ökumenikus Tanácsa (MEÖT), 49–60. Online: https://meot.hu/dokumentumok/2021szocet/Tanulmanykotet_MEOT_NKE.pdf#page=50
- GREEN-MIGNACCA, Santinah – ROSTAMI, Milad – BUCKING, Scott (2023): How Experiencing Extreme Climate Change Events Can Impact People's Willingness to Pay During a Power Outage: A Case Study From the Ottawa, on 2022 Derecho. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 51(5), 461–476. Online: <https://doi.org/10.1139/cjce-2023-0303>
- GROMEK, Pawel (2021): Strategic Training and Exercises for Critical Infrastructure Protection and Resilience: A Transition from Lessons Learned to Effective Curricula. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 65, 102647. Online: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102647>
- HORVÁTH Ákos – SIMON André (2019): Szélsőséges időjárási helyzetek okozta súlyos zavarok az áramszolgáltatásban. I. rész: Téli vegyes halmazállapotú csapadékos helyzetek. *Léggör*, 64(2), 45–88. Online: <https://www.met.hu/ismeret-tar/kiadvanyok/legkor/index.php?id=655>
- HORVÁTH Lajos – TÓTH Rudolf (2022): Pilóta nélküli légitársaságok alkalmazása jeges árhullám levonulásának megfigyelésére. *Katonai Logisztika*, 30(1–2), 153–170. Online: <https://doi.org/10.30583/2022-1-2-153>
- JOHNSON, Nathaniel C. et al. (2018): Increasing Occurrence of Cold and Warm Extremes During the Recent Global Warming Slowdown. *Nature Communications*, 9, 1724. Online: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04040-y>
- KÁSLER Miklós (2016): Etnikai és demográfiai változások Magyarország 1100 éves(nél is régebbi) történelmében. *Polgári Szemle*, 12(1–3), 13–40. Online: https://polgariszemle.hu/images/content/pdf/psz_2016_1-3.szam_3.pdf
- KIM, Yunsoung – LEE, Sanghoon (2019): Trends of Extreme Cold Events in the Central Regions of Korea and Their Influence on the Heating Energy Demand. *Weather and Climate Extremes*, 24, 100199. Online: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2019.100199>

- KISS Csaba – MOLNÁR Szabolcs (2024): Erőművek üzemeltetése és fejlesztése, problémák vagy kihívások? *Scientia et Securitas*, 4(3), 169–179. Online: <https://doi.org/10.1556/112.2023.00157>
- KOLLÁR Csaba (2022): Életstratégiánk a bizonytalanság digitális korában. *Biztonságtudományi Szemle*, 4(2. klsz.), 57–69. Online: <https://biztonsagtudomanyi.szemle.uni-obuda.hu/index.php/home/article/view/288/246>
- LAKATOS Bence – VASS Gyula – TEKNŐS László (2023): A katasztrófavédelmi hatósági feladatokat támogató rendszerek alkalmazási lehetőségei. *Belügyi Szemle*, 71(4), 669–690. Online: <https://doi.org/10.38146/BSZ.2023.4.7>
- LAKATOS Mónika – BOKROS Kinga (2024): A hűtési és fűtési időszakot jellemző éghajlati klíma-indexek változása Magyarországon. *Scientia et Securitas*, 4(3), 121–131. Online: <https://doi.org/10.1556/112.2023.00162>
- LI, Guiqing et al. (2023): Difference-in-Differences Test for the Effect of Extreme Weather upon Enterprise Productivity. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 8(2), 3323–3334. Online: <https://doi.org/10.2478/amns.2023.2.01132>
- MEGYERI-KOROTAJ, Otília et al. (2023) Assessment of Climate Indices over the Carpathian Basin Based on ALADIN5.2 and REMO2015 Regional Climate Model Simulations. *Atmosphere*, 14(3), 448. Online: <https://doi.org/10.3390/atmos14030448>
- MEZŐSI Gábor (2021): *Természeti veszélyek és hatásaik csökkentése*. Budapest: Akadémiai Kiadó. Online: <https://doi.org/10.1556/9789634546252>
- MOLNÁR, Ferenc (2023): Smart Solutions for Securing the Power Supply of Smart Cities. *Interdisciplinary Description of Complex Systems*, 21(2), 161–167. Online: <https://doi.org/10.7906/indecs.21.2.4>
- NAGY Rudolf (2010): A klímaváltozás hatása a kritikus infrastruktúrák védelmére. *Nemzet és Biztonság*, 3(2), 35–44. Online: http://www.nemzetesbiztonsag.hu/cikkek/nagy_rudolf-a_klimavaltozas_hataasa_a_kritikus_infrastrukturak_vedelmere.pdf
- NAGY Rudolf – HALÁSZ László (2008): Monitoring és lakossági riasztó rendszer és a kritikus infrastruktúra-védelem összefüggései. *Hadmérnök*, 3(2), 67–77. Online: http://hadmernok.hu/archivum/2008/2/2008_2_nagy.pdf
- NOVÁKY Mónika (2023): A reziliencia szerepe a biztonság megvalósításában. *Polgári Védelmi Szemle*, 15(Klsz.), 411–420. Online: https://mpvsz.hu/pv_szemlek/pvszemle2023/index.html
- OWCZAREK, Małgorzata – TOMCZYK, Arkadiusz M. (2022): Impact of Atmospheric Circulation on the Occurrence of Very Strong and Extreme Cold Stress in Poland. *Quaestiones Geographicae*, 41(3), 111–126. Online: <https://doi.org/10.2478/quageo-2022-0028>
- PADÁNYI József (2022): *Kihívások, kockázatok, válaszok*. Budapest: Ludovika Egyetemi Kiadó.
- PAPP, Dávid (2021): Patrolling Public Areas under Extreme Warm and Extreme Cold Weather Conditions, Protecting Police Personnel, Civilian Populace, Service Animals and Technical Equipment. *Magyar Rendészet*, 21(1), 53–65. Online: <https://doi.org/10.32577/mr.2021.1.4>
- PETRÁNYI Győző (2023): Múltunk és jelenünk környezeti katasztrófái és azok következményei. *Polgári Védelmi Szemle*, 15(Klsz.), 12–18. Online: https://mpvsz.hu/pv_szemlek/pvszemle2023/index.html
- PETRÁNYI Győző (2024): Környezeti változások hatása az élő szervezetekre. *Polgári Védelmi Szemle*, 16(Klsz.), 433–440. Online: https://mpvsz.hu/pv_szemlek/pvszemle2024/index.html
- PISANO, Andrea et al. (2020): New Evidence of Mediterranean Climate Change and Variability from Sea Surface Temperature Observations. *Remote Sensing*, 12(1), 132. Online: <https://doi.org/10.3390/rs12010132>
- RESPERGER István – SZOLGA Réka (2022): A V4-országok stratégiai tervezése és az alkotmányvédelem kérdései stratégiai dokumentumaikban. *Nemzetbiztonsági Szemle*, 10(1), 62–84. Online: <https://doi.org/10.32561/nsz.2022.1.5>
- SOMOGYI Tamás (2022): Természeti veszélyek és kezelésük a létfontosságú rendszerek és létesítmények védelmében. *Védelem Tudomány*, 7(4), 139–159. Online: <https://ojs.mtak.hu/index.php/vedelemtudomany/article/view/13548/10965>

- SOMOGYI Tamás (2023): A készpénz-ellátás jelentősége és biztosítása Magyarországon és Írországon. *Biztonságtudományi Szemle*, 5(3), 63–75. Online: <https://biztonsagtudomanyi.szemle.uni-obuda.hu/index.php/home/article/view/359/291>
- SZABÓ Renáta Krisztina – FODOR Szilvia (2020): A pszichológiai tőke fogalma, jelentősége és fejlesztési lehetőségei az iskolában. *Iskolakultúra*, 30(10), 65–82. Online: <http://www.iskolakultura.hu/index.php/iskolakultura/article/view/33979>
- SZAKALI Miklós – SZŰCS Endre (2020): A biztonság értelmezése a koronavírus járvány kapcsán. *Biztonságtudományi Szemle*, 2(1), 25–37. Online: <https://biztonsagtudomanyi.szemle.uni-obuda.hu/index.php/home/article/view/59/86>
- TEKNŐS, László (2023): Interpreting Disaster Science, Defining Its Objectives and Range. *Studia Universitatis Babeş-Bolyai Studia Ambientum*, 67(1–2), 75–95. Online: <https://doi.org/10.24193/subbambientum.2022.05>
- TÓTH Veronika Zsófia (2023): A pilóta nélküli repülő szerkezetek (UAV-k) rendvédelemben betöltött szerepe, biztonságtechnikai kockázata, a rendvédelmi drónok jövőbeli fejlesztési iránya és a biztonságtechnikai kockázatok csökkentésének lehetőségei. *Rendvédelem*, 12(1), 7–42. Online: <https://doi.org/10.53793/RV.2023.1.2>
- UNGVÁRI Álmos – SABJANICS István (2021): Pandémia és különleges jogrend Magyarországon. *Scientia et Securitas*, 2(3), 284–291. Online: <https://doi.org/10.1556/112.2021.00058>
- VEHRER Adél (2012): Téltemetés szalmabábuval. A magyar kiszejrás. *Polgári Szemle*, 8(1–2), 295–318. Online: https://polgariszemle.hu/images/content/pdf/psz_2012._1-2.szam_17.pdf cí
- WATSON, Peter L. et al. (2022): Improved Quantitative Prediction of Power Outages Caused by Extreme Weather Events. *Weather and Climate Extremes*, 37, 100487. Online: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100487>
- ZHANG, Yingbo – LI, Hangxin – WANG, Shengwei (2023): The Global Energy Impact of Raising the Space Temperature for High-Temperature Data Centers. *Cell Reports Physical Science*, 4(10), 101624. Online: <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2023.101624>
- ZHOU, Ryan Zhenqi et al. (2024): Understanding the Disparate Impacts of the 2021 Texas Winter Storm and Power Outages Through Mobile Phone Location Data and Nighttime Light Images. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 103, 104339. Online: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2024.104339>

István Rakaczki¹ 

Structures of the Árpád Line

Between the two world wars both victorious and defeated countries started to build fortifications on new principles. Hungary started to build up its defence system after the return of the high and medium height mountain areas. The defence developed under the leadership of Teofil Hárosy was built up from small size, in-ground, widely dispersed and well-camouflaged units. Most of the fortifications ensured defence and technical support. The open firing positions, spatially separated from the buildings, provided effective defence and possibility of counterattacks.

Keywords: fortification theories, Árpád Line, reinforced concrete structures, firing positions, camouflage

Introduction

After the end of World War I, from the end of the 1920s a new wave of fortress building has begun. Both significant development of weaponry and increase in firepower triggered changes in defence systems. The French Minister of War at the time, André Maginot, played a leading role in the development of the new theory. The reinforced concrete fortifications, built based on the “Maginot principle”, up to several kilometres long and partially buried underground, were expected to hold back the attacking enemy.

The Little Entente countries surrounding Hungary (Czechoslovakia, Romania and Yugoslavia) also built fortresses along their borders from the second half of the 1930s. The effectiveness of these defence systems in combat conditions is unknown, since as a result of the first and second Vienna Awards, they were taken over by the Hungarians without a fight. These played no further role in the war afterwards.

The borders of Hungary as defined by the Treaty of Trianon – except for a short section of the Zemplén Mountains – was hilly and lowland. As a result of the Vienna Awards, the borders of some of the territories that were returned (Transcarpathia, Northern Transylvania) had a medium height and high mountainous character, which led to the development of a new border defence plan.

¹ PhD student, Ludovika University of Public Service, Doctoral School of Military Sciences, e-mail: irakaczki@gmail.com

The Hungarian fortress design

In 1939, with Transcarpathia returned, the practical implementation of the fortification of borders in the Eastern Carpathians was on the agenda. In the autumn of 1938, the Hungarian Defence Forces General Staff already formed a fortification department within the framework of the Institute of Military Technology, which did not have permanent staff yet, but only an ever-expanding range of tasks in the implementation of which civilian companies and specialists could be involved in addition to the staff of the Institute of Military Technology.²

Already in the autumn of 1939, the Fortification Command started to draw up plans for the Hungarian defence line. Of course, there was neither will nor financial resource for building a fortification system like the Maginot Line. The Árpád Line was a network of open firing positions and reinforced concrete defensive installations, shelters and observation posts that served them, taking advantage of the opportunities offered by the terrain. Its construction lasted practically until the beginning of the Red Army's Carpathian campaign in 1944.

The preparation of technical plans and the development of professional concepts for the construction of the fortress had already begun at the Institute of Military Technology earlier. The Hungarian Royal Defence Fortification Command deals with the general requirements, design and construction of concrete fortifications in its technical documentation. Some of the tables are labelled with the date "Month IV 1938".³

From the 1st of November 1939, Lieutenant Colonel Teofil Hárosy was appointed head of the planning department of the newly created Fortification Command. He visited Germany several times between 1937 and 1940 to study fortifications. On the 1st of November 1941, he was appointed Colonel of the Technical Staff and at the same time Commander of the Fortification Command.⁴

At that time, lacking combat experience, the French Maginot Line was considered the most modern facility. Therefore, similar anti-tank gun emplacements with long, winding tunnels and large shelters for personnel were planned. In the autumn of 1939, construction of this type of fortification system began under the Verecke Pass, in the area of Lower Verecke and the Latorca River (Figure 1).

² SZABÓ 2002: 82–83.

³ Fortification Regulation s. a.: 47, 63.

⁴ BALLA–PADÁNYI 2023: 45.

The largest bunker of the Árpád Line in Felsőgereben

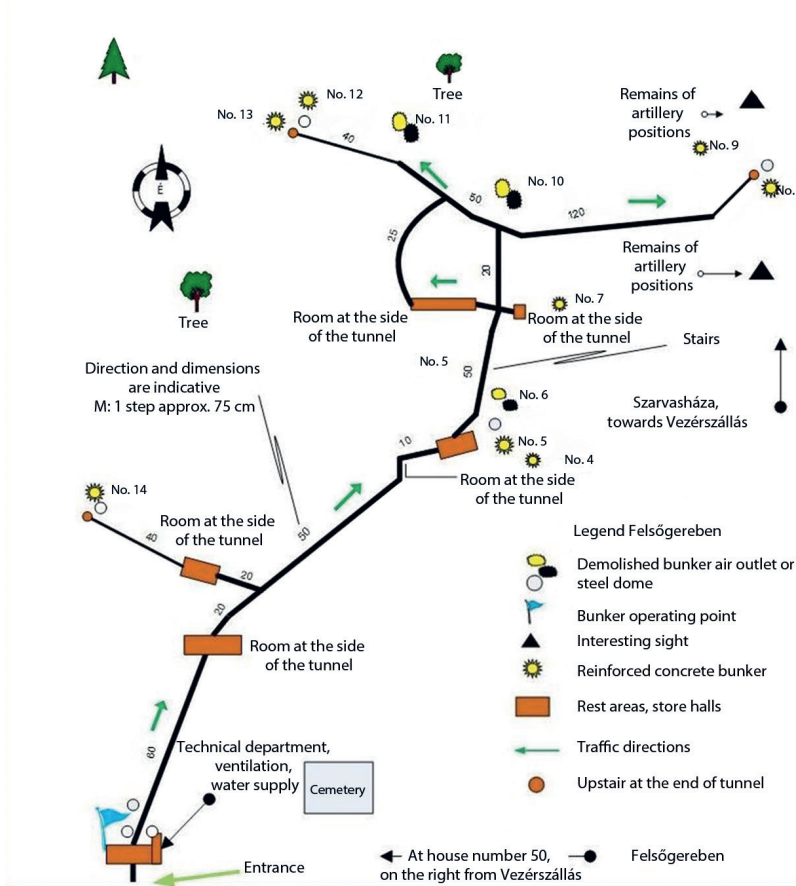


Figure 1: Maginot-type bunker at Felsőgereben

Source: RAKACZKY–RUSZ 2009: 129

In May 1940, the German army, in its campaign against France, did not bypass the Maginot Line, but embraced it vertically with airborne troops and then, attacking the entrances, formed a gap relatively easy.

In the autumn of 1940, a Hungarian military inspection committee also studied the Maginot Line occupied by the Germans and the Belgian fortifications. The Maginot Line, which was thought to be impregnable, was quickly overcome by the Germans with unexpected manoeuvres. However, Hungarian technical officers recognised that the small defence positions between the concrete monstrosities could withstand overwhelming force for a long time. Taking this experience into account, the designers of the Hungarian fortification system

planned to build a small, well-camouflaged system with the basic cell of defence in the valley closures being the perimeter defensible swarm position.⁵

Defenders can be protected from the effects of aircraft bombs by oversizing the structural elements, scattered placement, preferably by building small structures and hiding them perfectly. These rules also protect against artillery fire.⁶

Geographical opportunities define where the fortifications should and should not be built. The advantages in combat are only proportional to the monetary investment if the defensive potential has been significantly increased. Against fortifications built in the high and medium height mountains – which are more defensible because of the circumstances – the enemy can only use as much force as the terrain allows him to deploy and move during the attack.

Hence, only areas of a closed valley should be blocked by permanent fortifications, because this is where we can provide the most advantageous defensive capability.⁷

In the autumn–winter of 1940, under the leadership of Teofil Hárosy, a plan for a coherent line of defence was drawn up, incorporating the defence of the Transcarpathian and Northern Transylvanian passages into one system. The name “Árpád Line” appeared at the same time. The system was not based on passive defence, but on a series of counterattacks and unexpected manoeuvres by the defenders.

In the new concept of fortress construction, the protection of personnel and armament, and the use of firing positions were separated. The two systems operated separately in space. Weapons were used in open firing positions (Figure 2), so that well-camouflaged shelters were hidden from the enemy. When enemy reconnaissance or artillery located the emplacements, the defenders would retreat to the shelters and then continue the fight from the alternate positions after the enemy fire ceased.



Figure 2: Open machine gun position with camouflage net (October 1944)

Source: Филоненко 2017: 82

⁵ BALLA–PADÁNYI 2023: 45–46.

⁶ VARRÓ 1942: 69–70.

⁷ VARRÓ 1942: 68.

Fortification instructions

In 1939–1940, some of the reinforced concrete structures still had an embrasure (Figure 3). This had been abandoned by the “redesign” using the German experience. The new bunkers were deliberately not equipped with an embrasure, and were primarily intended to protect the integrity of personnel and armament. The structures were built with 60–100 cm thick slabs. The bunkers were connected by trenches leading to open firing positions. For all the main weapons, several alternate positions were constructed.⁸



Figure 3: Embrasure detail from a blown-up bunker in Ung Valley
Source: Photograph taken by the author, 2014

This is reflected in the 1941 Fortification Regulation on the use of the embrasures. “Only rarely should embrasures be used. It is advantageous to position a single, rigid closing fire weapon, typically lateral machine guns, in a firing slit fortification, if they can provide the time necessary to counterattack the bulk of the defenders by sweeping obstacles with their huge fires. Otherwise, there are only disadvantages of the embrasures. Never set up a fortified position under an artillery barrage, as it will be vulnerable to the open fire of modern weapons. Such a fortification can be overcome even by a weapon of disproportionately inferior effect, which, without embrasures, the fortification would certainly resist.”⁹

Reinforced concrete shelters were usually buried underground for good hiding. One person was usually calculated to use 4 cubic metres of air, which is enough for about 4 hours for a resting man. A so-called “battle plan” was first drawn up of the planned fortification, a valley block, which served as the basis for the later technical design. Standard reinforced concrete structures were used in the technical design and then in the construction, with only rare deviations from the plans. The detailed technical design of the fort consisted of the following:

⁸ Kacsó 2003: 111–112.

⁹ Fortification Regulation 1941: 4. §, 27.

- layouts and sections of the proposed structures at a scale of 1:20, 1:25 or 1:50
- detailed plan of the pit and other earthworks
- formwork plan
- reinforcement plan

Special care was taken to reinforce the slabs. Projectiles hitting the slab may have caused fragments to detach from its inner surface and endanger the lives of the defenders. The internal reinforcement of the slab could be made of 14 or 20 (cm) I-beams or railway rails. To protect against concrete detachment from impacting projectiles, the internal formwork was left in place or iron plates were placed between the internal reinforcement. Because of the internal detachment caused by the shots, it was forbidden to smooth the wall surfaces and repair any defects.¹⁰

The instructions for fortifications deal with the quality of the construction materials that are allowed to be used in detail.

Cement: only high strength Portland cement can be used. The use of bauxite cement must be avoided.

Sand and gravel: preferably clean, sandy gravel from a "recognised site" should be used. Instead of gravel, hard crushed stone (e.g. basalt, granite, limestone) is preferable. The grain size should be such that the smaller grains perfectly fill the voids between the larger ones.

Water: free from components harmful to concrete (acid ions, sulphates, organic compounds, etc.), odourless, clean, neutral in chemistry.

Steel material: centrally tested and approved commercial product.¹¹

The purpose of steel reinforcement is to limit the destructive effect of the projectile to as small as possible, i.e. to reduce the size of the cracks and the funnel cut.¹²

In addition to using the right quality materials, it is essential to carry out the concrete work in parallel. This ensures a monolithic concrete block of exceptional strength, which is the most resistant to the explosion of projectiles hitting the concrete.¹³

The cubic strength of the concrete shall be at least 400 kg/cm² for hand-compacted concrete and 500 kg/cm² for machine-compacted concrete.¹⁴

During our field survey, we carried out a Schmidt hammer concrete test on the blasted armoured cannon emplacement at Utcási Valley Block (now Slovakia) in 2023. This is a non-destructive concrete testing method that provides hardness information from the surface of the concrete and its vicinity. The Schmidt hammer test is generally used when it can be assumed that there is no significant discrepancy between the surface and the internal mass of the concrete. According to the Fortification Instructions, it is a basic requirement to produce monolithic concrete, therefore the average value of 374 kg/cm² obtained for concrete produced about 80 years ago is realistic and approximates the value given in the Fortification Regulation (Figures 4 and 5).

¹⁰ SZABÓ 2002: 127–130.

¹¹ Fortification Regulation 1941: 14–16.

¹² Fortification Regulation 1941: 10–11.

¹³ Fortification Regulation 1941: 17.

¹⁴ Fortification Regulation 1941: 29.



Figure 4: Reinforcement of structure
Source: Photographed by the author

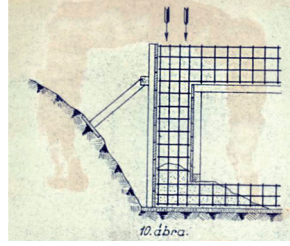


Figure 5: Reinforcement and concreting
Source: Fortification Regulation 1941: 59

The reinforced concrete structures of the Árpád Line

In all defence systems, a large number of single-person reinforced concrete firing positions were used for the use of light machine gun and machine guns (DOT – долговременная огневая точка). Because of their small size, they could be perfectly camouflaged. Two types were encountered during our research: hexagonal and rectangular structures. The hexagonal version (Figure 6) was the most common. This was due to the fact that it was easier and better to camouflage, had greater resistance and had no unused corners.



Figure 6: Hexagonal DOT
Source: Photograph taken by the author at the valley block of Utcás

The typical internal dimensions of the DOT are: length 1.75 m, width 1.6 m, height 1.9 m. The funnel-shaped embrasure on the outside and inside ensured efficient firing (Figure 7). Entrance was from a passage trench in the rear area, which provided protection from enemy artillery fire. The DOT had a wall thickness of 0.8 m and a slab thickness of 1.1 m, with four reinforcements of 10 and 20 mm quality reinforcing bars to provide improved resistance. Protection against splintering was provided by a 3 mm thick iron plate placed between the I-beams of the ceiling. The floor and the sidewalls were protected by boarding. The structure was covered with 0.3–0.4 m of humus soil, which improved camouflage and also protected against projectiles.¹⁵

¹⁵ Игнатов–Кузнецов 1945: 2–3.

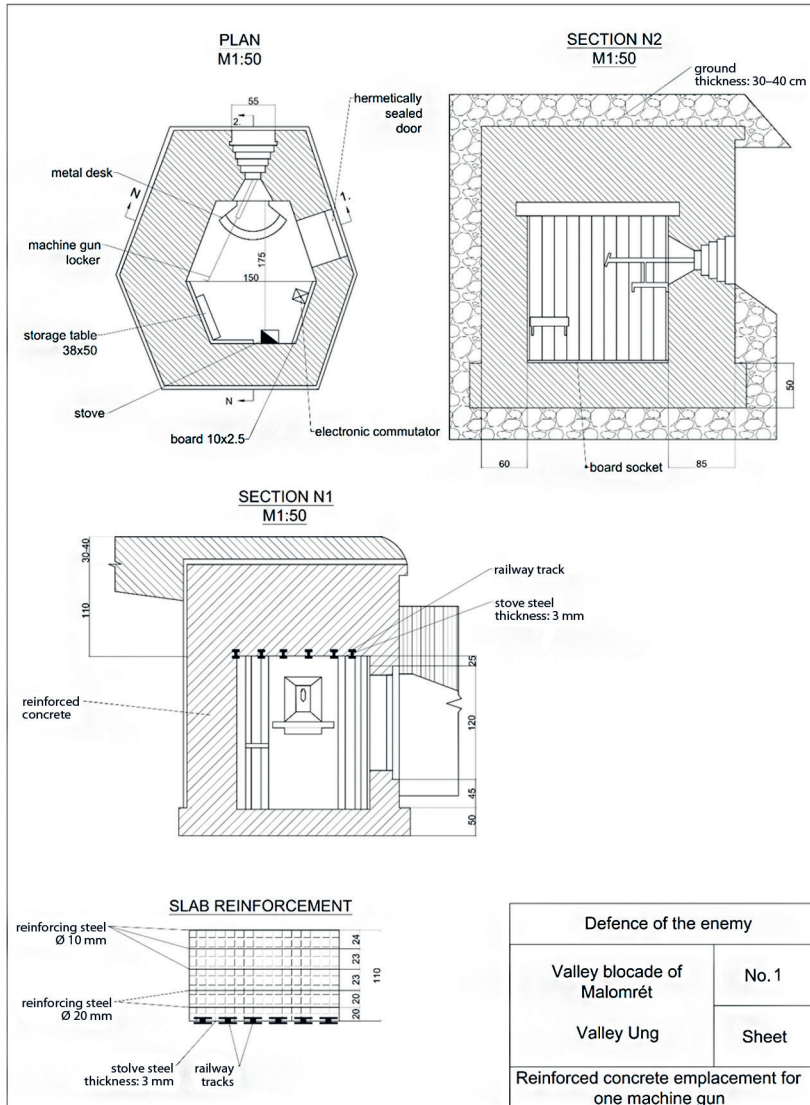


Figure 7: Technical drawing of single-person reinforced concrete firing position (DOT)

Source: Prepared by Bálint Papp and István Rakaczki based on ЦАМО РФ. Ф. 4 УФ (244). Он. 3000. Д. 635. Л. 2.

The valley blocks were subdivided into section points and those are subdivided into swarm positions. The protection of personnel was an important consideration in the design of the valley blocks. To ensure this, reinforced concrete shelters were built: half-swarm bunkers (6 men), swarm bunkers (12 men) and officer shelters. The internal dimensions of the officers' bunker were 1.7 x 2.3 m. The half-swarm bunkers (Figure 10) consisted of one room, while the swarm shelters usually consisted of two units separated by a wall (Figure 8). The slab could be

flat or arched. The protection of the interior from falling concrete splinters depended on the shape of the slab. In the case of the flat slab, a boiler iron was installed between the I-beam reinforcement, and wooden cladding was used. For the arched slab, a special corrugated sheet covering was used (Figure 9).¹⁶

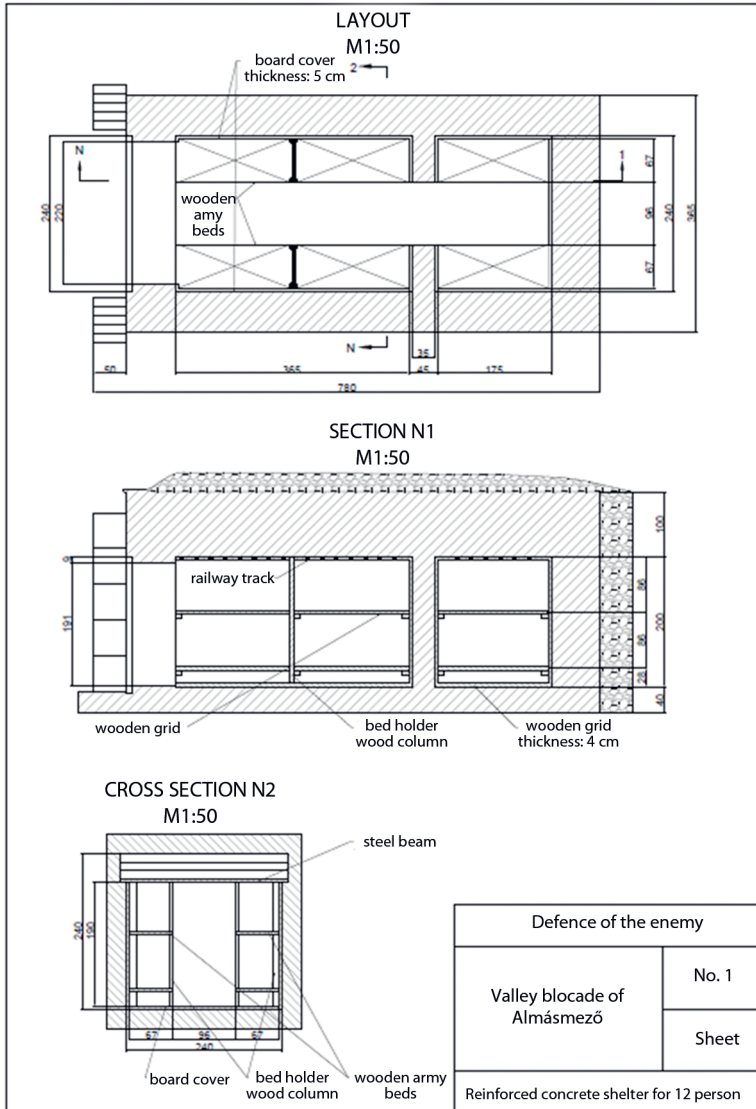


Figure 8: Technical drawing of a swarm shelter

Source: Prepared by Bálint Papp and István Rakaczki based on ЦАМО РФ. Ф. 4 УФ (244). On. 3000. Д. 635. Л. 22.

¹⁶ Филоненко 2017: 97–98.



Figure 9: Corrugated sheet covering used for bunker interiors (valley block of Körösmező)

Source: Photograph taken by the author



Figure 10: Half-swarm bunker: The place of corrugated sheet covering can be seen inside (valley block of Körösmező)

Source: Photograph taken by the author

In addition to the personnel, they also protected the armoury of the valley blocks from enemy fire. Reinforced concrete bunkers were also built for artillery weapons and anti-tank guns (Figures 11 and 12). Most of the valley fortifications had structures of the same size and layout. The use of the gun was spatially separated from the bunker. There was usually a ramp leading from the firing position to the shelter (Figures 13 and 14). The cannon rolled in through a 2.2 m wide door. The gun room measures 4.7×2.4 m, separated by a wall, followed by a 1.8×2.4 m shelter for the operating crew.

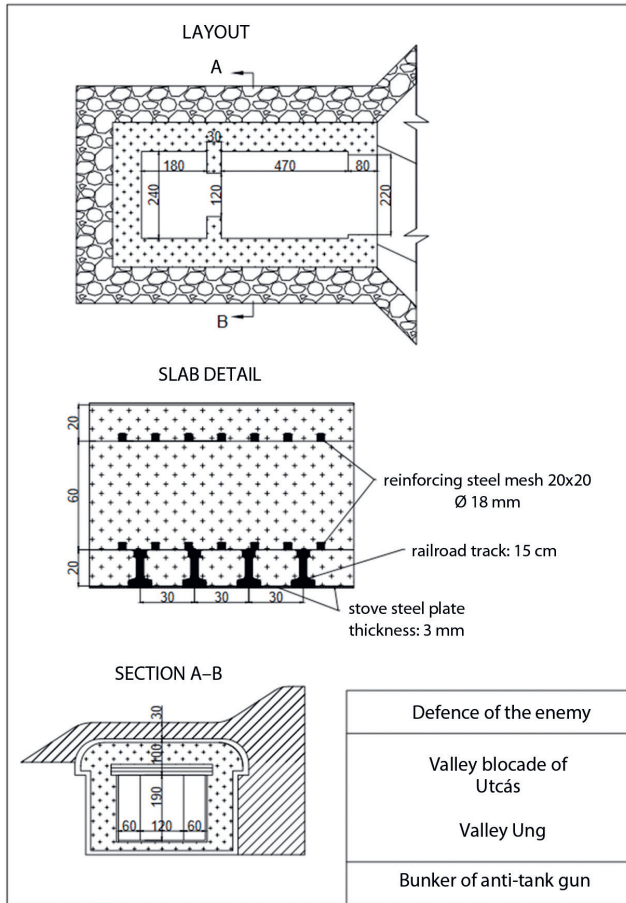


Figure 11: Technical drawing of an anti-tank gun bunker

Source: Prepared by Bálint Papp and István Rakaczki based on ЦАМО РФ. Ф. 4 УФ (244). Он. 3000. Д. 635. Л. 27.



Figure 12: Anti-tank gun bunker near Oroszmokra

Source: Photograph taken by the author

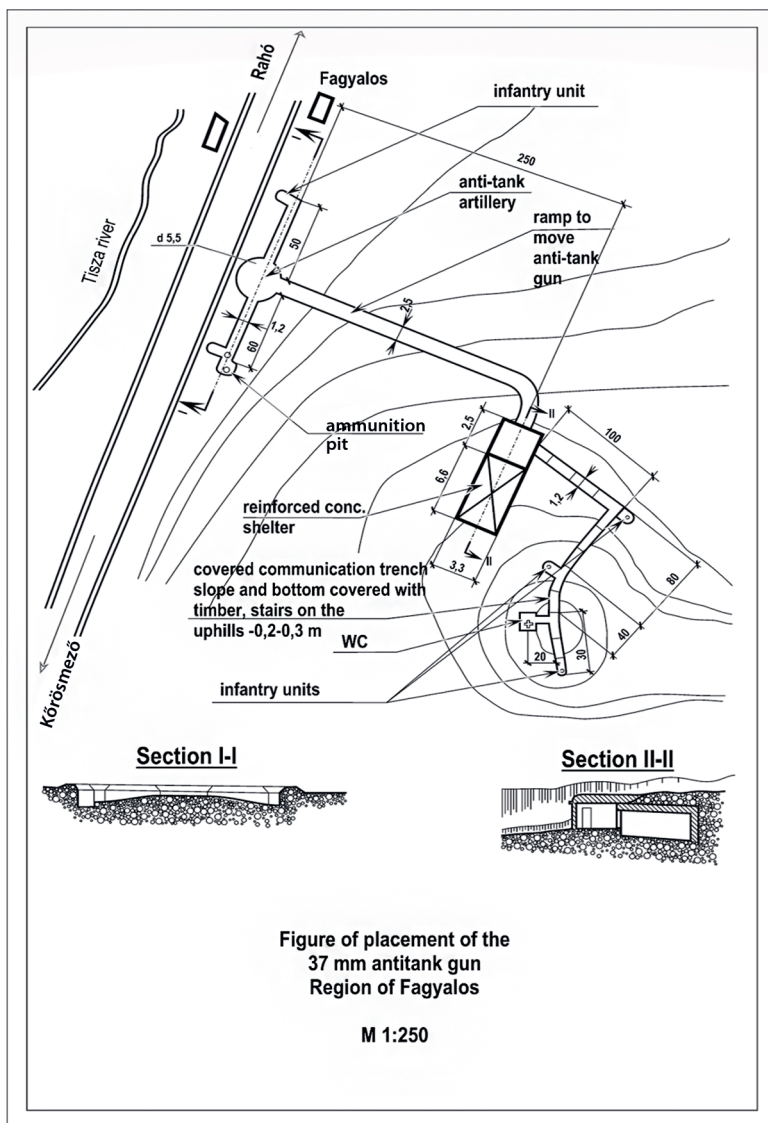


Figure 13: Anti-tank gun placement Fagyalos (valley block of Kőrösmező)

Source: Prepared by István Rakaczki and J. Miron Szalai based on ЦАМО РФ. Ф. 4 УФ (244). On. 3000. Д. 635. Л. 10.

Each valley block had several anti-tank units. They were mainly positioned after major bends in the road, alongside narrow roads where the armoured units could only move slowly and in single line. A barrier system in front of each gun emplacement ensured greater effectiveness. This could be a multi-row tank barrage, a tank ditch, an anti-tank minefield, or a combination of these.

In addition to the anti-tank gun, the defensive position consisted of several open firing positions, an ammunition store, a reinforced concrete shelter, open or covered trenches and a ramp for moving the gun, which together provided all-round protection. The anti-tank emplacements in each of the valley blocks made maximum use of the terrain conditions, and therefore the emplacements may have differed slightly.¹⁷



Figure 14: Detail of anti-tank emplacement at Fagyalos
Source: Photograph taken and edited by the author

If we compare the site plan of Fagyalos in Figure 13 with the photo (Figure 14), we can see that the site plan contains several misrepresentations. The Tisza flows on the other side of the road, the shelter and its entrance and the ramp are wrongly depicted. The bend of the road and the river is to the NNE of the shooting range (not shown in the figures).

The defence used reinforced concrete guns in front of all armoured units to force enemy tanks to stop (Figure 15). Its size and shape depended on the area of use. In land areas, regular triangular guns were deployed. They were cut horizontally below the top and an iron hook of minimum 10 mm diameter was installed. This was used to lift the wire barrier during loading and to attach the wire barrier during installation. To close rivers, swamps and wetlands, elongated deltoid gullies were used. The shorter side was against the flow of water, which was more resistant to the pressure of water and possible ice (Figure 16).

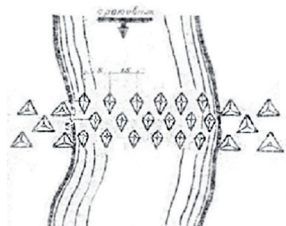


Figure 15: Application of tank blocking pyramid rows
Source: ЦАМО РФ. Ф. 4 УФ (244). Оп. 3000. Д. 635. Л. 33.

¹⁷ Филоненко 2017: 79–83.



Figure 16: Remains of the tank blockades in creek Vecsa

Source: Photograph taken by Rusz Ferenc

Technical structures

One valley block was occupied by a fortress squadron. In the event of a sustained enemy attack, it could remain in combat for several days without support. Each fortress therefore had multiple doses of supply, which were deposited in secure earth and wood or reinforced concrete storage areas. Supply and first aid for the wounded worked in the same way. All valley bunkers had a kitchen. It was also built according to a type design (Figure 17).

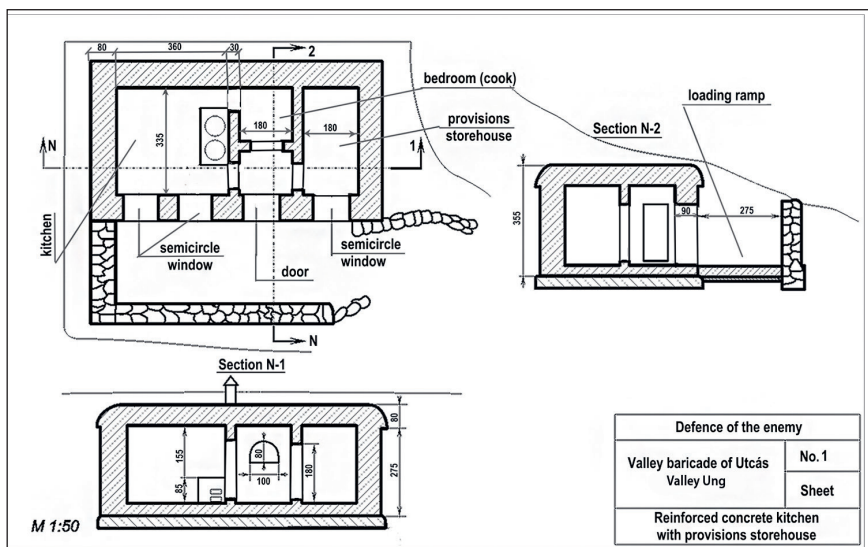


Figure 17: Technical drawing of kitchen

Source: Prepared by István Rakaczki and J. Miron Szalai based on ЦАМО РФ. Ф. 4 УФ (244). On. 3000. Д. 635. Л. 29.

Reinforced concrete kitchens were installed at all protection nodes (Figure 17). They were usually built at the rear, behind a slope, in concealment, and located along a road suitable for food supplies. The layout of the kitchen was very simple. To the right of the entrance hall was the food store (3.35 × 1.8 m), which could be closed by a door, to the left was the kitchen, opposite which was the cook's room (1.8 × 1.8 m). Depending on the number of defenders, two or four cooking units were used.¹⁸

The kitchen was lit through semicircular windows. The windows and doors were hermetically sealed with metal doors and metal shutters. The structure of the walls and ceiling of the kitchen was similar to that of the reinforced concrete buildings, except that in several places the outer part of the front wall was made of stone (Figure 18).



Figure 18: Former kitchen building at the area of Vízköz

Source: Photograph taken by the author

The valley blockades had a first aid post. These reinforced concrete structures were the largest buildings. Their external dimensions were 9.95 m (11.0 m) long, 5.1 m wide and 3.5–4.0 m high. The slab was flat reinforced concrete resting on I-beams, with boiler iron plates between the I-beams to provide protection against concrete splinters. The walls and floor of the building were covered with boards. The health centre was divided into three rooms. The central part was internally accessible from both adjacent rooms, the right and left rooms having separate exits (Figure 19). The left room had benches for the wounded, the central room, lit by two windows, served as an examination room and even as an operating theatre for minor operations. All medical stations were built according to the same technical drawing.¹⁹

¹⁸ Игнатов–Кузнецов 1945: 12.

¹⁹ Игнатов–Кузнецов 1945: 11.

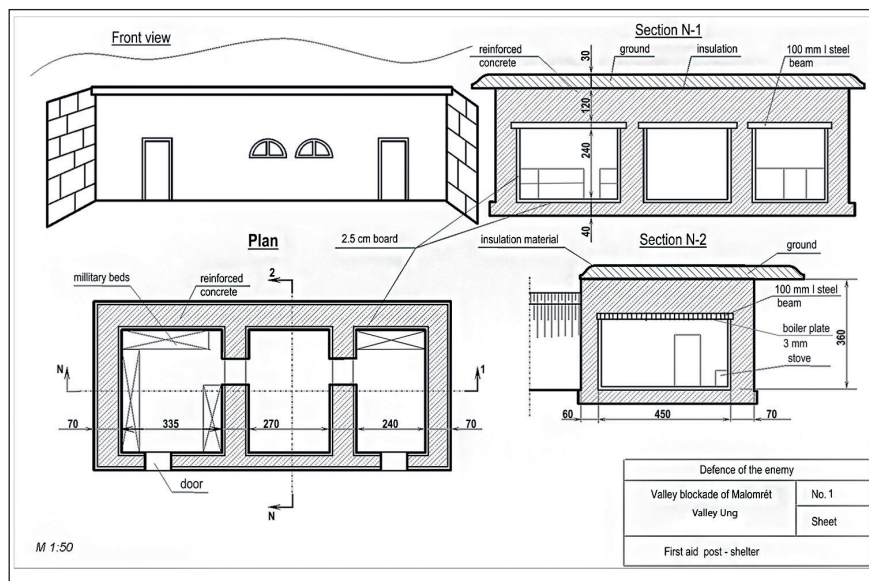


Figure 19: Technical drawing of first aid post

Source: Prepared by István Rakaczki and J. Miron Szalai based on ЦАМО РФ. Ф. 4 УФ (244). Он. 3000. Д. 635. Л. 28.

The larger valley blocks had an electric power station, too. This provided lighting in shelters and other structures, and possibly power for small machinery. Another important role was to keep the wire barriers at the section points electrified to hold back the attacking enemy. The wire barriers were supplied with 3,000 Volts DC. A reference to this can be found in the war diary of the 17th Guards Corps attacking the valley barrier at Kőrösmező.

The power supply system was installed in two buildings, 200–300 metres apart, identical in plan and dimensions. The engine and dynamo were in one location, the transformer in the other, which was closer to the main defence line. In both buildings, a dividing wall separated the engine room from the work room. The reinforced concrete service buildings were structurally identical to the flat-roofed shelters.²⁰

Summary



After the spectacular failure of the Maginot-type fortification systems, which were designed for defence only, a new type of defence was needed. The economic possibilities of Hungary did not allow the construction of large, expensive structures. The active defence system developed under the leadership of Colonel Teofil Hárosy provided the possibility of a counterattack. Small, well-camouflaged reinforced concrete structures, resistant to known artillery shells, provided protection for the personnel and armament. The Red Army's continuous attack for

²⁰ Игнатов–кузнецов 1945: 12.

a month and a half only reached the Árpád Line in a few places (Uzhoki Pass, Tatar Pass). The Kőrösmező valley blockade held its ground, only falling into the hands of the attackers after the execution of the Hungarian withdrawal order.

References

- BALLA, Tibor – PADÁNYI, József (2023): Műszaki kiválóságok: Hárosy (Haszala) Teofil vezérőrnagy [Engineer Geniuses: Teofil Hárosy]. *Műszaki Katonai Közlöny*, 33(3), 41–50. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2023.3.4>
- ЦАМО РФ: Центральный архив Министерства обороны Российской Федерации.
Fortification Regulation (s. a.): *Erődítési szabályzat* [Fortification Regulation]. *Hungarian Royal Fortification Command* (copy no. 129/13 at the Military History Archives).
- Fortification Regulation (1941): *Erődítési utasítás* [Fortification Regulation]. *Honvédségi Közlöny*, (58).
- Филоненко, Н. В. (2017): Крах агрессора. Разгром советскими войсками 1-й венгерской армии в Карпатах осенью 1944 г. Воронеж.
- Игнатов, О. – Кузнецов, А. (1945): Инженерное оборудование местности на линии «Арпада» Военно-инженерный журнал, № 5–6. Manuscript in possession of the author.
- KACSÓ, Lajos (2003): Az Árpád-vonal titkai. *Honvédségi Szemle*, 131(1), 109–113.
- RAKACZKY, István – RUSZ, Ferenc (2009): *Magyar katonai erődítések a Keleti-Kárpátokban*. Göd: Fialatok a Vidékért Egyesület.
- SZABÓ, József János (2002): *Az Árpád-vonal. A Magyar Királyi Honvédség védelmi rendszere a Keleti-Kárpátokban 1940–1944*. Budapest: Timp Kiadó.
- VARRÓ, László (1942): Országérodítés. *Magyar Katonai Szemle*, 12(5), 67–72.

Norbert Daruka,¹  Kálmán Dénes,²  Zoltán Kovács,³  Róbert Vég,⁴ 
István Ember⁵ 

The Possibilities and Limitations of Applying 3D Printing Technology by the Engineer Troops of the Hungarian Defence Forces⁶

The purpose of the research presented in the article is to examine 3D printing, the best-known type of additive manufacturing technology today, and its potential applications within the technical units of the Hungarian Defence Forces. In the first part of the paper, we describe the 3D printing process and classification according to various aspects, as well as the manufacturing process from design to the finished product. We then outline the strategic goals and the advantages of this manufacturing technology, justifying its legitimacy as a modern manufacturing method in the execution of military tasks. In the main part of the paper, we present the personnel and material conditions, possibilities and limitations of applying 3D printing technology in military contexts. All of this contributes to the organisational development required for applying the manufacturing process, education exploring further application possibilities and minimising potential risks associated with the manufacturing technology.

Keywords: additive manufacturing, 3D printing, 3D printing capability, logistics, supply chain

Introduction

Due to the relatively peaceful years in Europe over the past decades, many countries, including Hungary, spent significantly less on defence expenditures than the 2% of GDP required

¹ Explosives industrial engineer, e-mail: daruka.norbi@gmail.com

² Civil engineer, e-mail: denes.kalman.1975@gmail.com

³ Associate Professor, Ludovika University of Public Service, Department of Combat Support, e-mail: kovacs.zoltan@uni-nke.hu

⁴ Associate Professor, Ludovika University of Public Service, Department of Military Technology, e-mail: veg.h.robert@uni-nke.hu

⁵ Assistant Professor, Ludovika University of Public Service, Department of Combat Support, e-mail: ember.istvan@uni-nke.hu

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

by NATO guidelines. For example, in 2014, only three countries met this target.⁷ As a result of the reduced defence budgets, the necessary military technological developments and modernisations in the Hungarian Defence Forces were delayed, directly causing a decrease in combat effectiveness. In what was perceived as a stable security environment and the absence of threats, this had no noticeable impact or major consequences.

In recent years, radical changes in the global security environment, various geopolitical tensions, and the continuously escalating armed conflicts, such as the Russo–Ukrainian war in our neighbouring country, have forced a reassessment of NATO's strategic goals and defence policy. Due to increasing security threats and risks, more and more countries have raised their defence spending, resulting in 11 NATO allied countries meeting the 2% GDP expenditure guideline by 2023, and 18 countries meeting it by early 2024.⁸

Consequently, NATO's budget has grown significantly year after year, enabling the Alliance to fulfil its three core tasks: deterrence and defence, crisis prevention and management, and cooperative security. In addition to contributing to the collective burden-sharing, the significantly increased domestic defence budget has provided an opportunity for previously delayed investments, refocusing the development of the Hungarian armed forces. As a result, modern helicopters, combat vehicles and tanks have been acquired and put into service. Alongside the acquisition of modern military equipment, the necessary organisational restructuring and the preparation of personnel for their use have also been carried out.

To ensure Hungary's sovereignty and territorial integrity, the Government, in line with NATO's strategic concept, has developed and adopted the National Military Strategy.⁹ This strategy provides guidance for the medium and long term for the Hungarian Defence Forces, based on the experiences of current conflicts and anticipated future challenges. The strategy outlines, for example, the roles and applications of the armed forces and the directions for their development, aiming to transform the Hungarian Defence Forces into a modern, flexible and efficiently deployable military force. Through ongoing and future developments, a modern military will emerge, equipped with advanced technology, high mobility and rapid responsiveness, capable of meeting both current and future challenges while continually evolving and adapting.

To achieve these goals, such as the developing military organisation and technology, and establishing additional competencies, it is essential to utilise modern technology and innovations. These advancements contribute to the successful execution of tasks, enhance operational efficiency and improve survivability.

The directions for developing the domestic defence industry must be aligned with the goal of ensuring that the armed forces possess technological capabilities essential for future warfare, such as cyber defence, artificial intelligence, robotics, unmanned aerial vehicles and counter-measures against them, and advancements in materials and manufacturing technologies. The list clearly demonstrates that the defence industry actively adopts innovative solutions

⁷ The Secretary General's Annual Report 2023.

⁸ The Secretary General's Annual Report 2023.

⁹ Government Resolution 1393/2021 (VI. 24.) on the National Military Strategy of Hungary.

and technologies that have proven competitive and efficient in the profit-oriented economic sector. Among these, 3D printing technology stands out, offering numerous advantages over traditional manufacturing processes. Our research on 3D printing, with most results already published, demonstrates that this technology¹⁰ has a place in a defence system equipped with modern military technology and its own manufacturing capabilities.

Introduction to 3D printing technology

The production of a product tailored to the various needs of the customer is the result of a planned, optimised and cost-effective manufacturing process that systematically alters the shape and properties of the raw material. Today, this is still primarily achieved through traditional manufacturing methods, where excess material is usually removed according to the product design, typically using machining processes like milling, drilling and turning. In contrast, additive manufacturing, like the 3D printing process discussed in this paper, builds objects layer by layer by adding material based on a digital 3D model. Preparing the necessary files for printing can be done through:

- designing, using CAD software
- 3D scanning

3D printing is spreading at an increasing pace, from hobby users to profit-driven economic players. In addition to home use, it is appearing in businesses involved in manufacturing and it is becoming more common in the service industry, too. Almost every sector of the economy is beginning to discover and exploit the advantages of 3D printing. These advantages led us to begin researching this manufacturing technology a few years ago. Our research focused on its methods, materials and untapped potential for military applications.

The classification of 3D printing processes not only facilitates navigation for average users within the ever-expanding range of options, but it is also essential for selecting the printer most suitable for our research and specific technical tasks. Based on the classification, 3D printing processes can be grouped according to their field of application (e.g. education, research, prototype production, etc.), the printing method (e.g. extrusion-based, powder bed, etc.) and the type of printing material used (e.g. plastics, metals, composites, etc.). Considering that the acceptance and use of 3D printing is growing, the technology is continuously and rapidly evolving. As a result, newer, more accurate and more efficient printing methods¹¹ and materials are becoming available to users. Consequently, 3D printing processes have become economically viable and successful in areas where production or the operation of supply chains used to be very costly.

In our research on the application of 3D printing processes within technical units, we considered the fact that the technology's use and development are still in the early stages. During this period, we are refining the manufacturing process details that best meet the

¹⁰ DARUKA et al. 2024a.

¹¹ KARA et al. 2023.

requirements and regulations of various fields of application, with the aim of partially or fully replacing the previously used solutions. Despite the advantages uncovered so far, the process still requires significant improvements in several areas. Reducing printer errors,¹² improving the mechanical properties of materials,¹³ localising and applying existing manufacturing standards, and standardising quality control procedures for the finished products will further enhance user satisfaction.

The 3D manufacturing process is being increasingly adopted by various profit-oriented players in the economy, as it enhances production efficiency, reduces costs and increases revenues. Due to the significant advantages and opportunities of this technology, it is also being researched and utilised by the defence industry, including the military, in various areas such as military logistics to reduce supply chain risks, a topic we have addressed in detail in a previous publication.

Application of 3D printing technology in the Hungarian Defence Forces

Like private sector businesses, the Hungarian Defence Forces also employ modern and innovative solutions that provide certain advantages and added value to the organisation. These include modernisation based on technological advancements,¹⁴ efficiency improvements brought about by high-end military technology, and achieving faster response capabilities. All of these contribute to fulfilling military strategic objectives, reducing risks and enhancing security, which together ensure the success of mission execution and the safety of personnel carrying out the tasks.

To achieve the set goals, it is essential to examine the adaptation of modern technologies and advancements into the military, as previously mentioned. To enhance supply security, the renewal of the domestic defence industry is necessary, and partial successes and results have already emerged within the armed forces. The outcomes of defence-related research and development can lead to breakthroughs in various areas of defence capabilities, such as the development of critical military equipment. The significant increase in the budget of the Hungarian Defence Forces creates the opportunity for this, contributing to the modernisation and strengthening of the military, which is both a national interest and supports the strengthening of NATO.

Driven by national interests, the domestic defence industry, including national defence, effectively employs innovative and modern procedures that contribute to the development of a contemporary organisation and military technology in line with current requirements, thereby enhancing security. Achieving a modern military, however, requires not only the development of existing capabilities. It also demands the creation and integration of new capabilities into the armed forces, ensuring that goals are met more efficiently and swiftly.

¹² ZENTAY et al. 2023a.

¹³ ZENTAY et al. 2023b.

¹⁴ HEGEDŰS–GYARMATI 2022.

The combat actions of the ongoing Russo–Ukrainian war, for more than two years in our neighbouring country, demonstrate how the military application of innovative and modern solutions fundamentally alters established rules and procedures of warfare. Among these, particular importance is given to modern weapons systems AI-powered robots, and the widespread deployment of drones and, most importantly, 3D printing, the focus of our research. The successful application of 3D printing in military technology has enabled the local productions of drones and weapon parts near the front lines. Specialised 3D printers optimised for military requirements are used for these tasks, which can even meet supply needs under field conditions. Large-scale 3D printers designed for construction purposes will be used to rebuild buildings destroyed, demolished, or damaged in the fighting. These examples underscore the legitimacy of applying modern technologies in the military and the necessity of developing military capabilities. Furthermore, these examples support our view that 3D printing, a revolutionary new manufacturing technology, should play a decisive, though not exclusive, role in the Hungarian Defence Forces, particularly in defence-related education, research and supply chains.

The possibilities of applying 3D printing technology by the engineering units of the Hungarian Defence Forces

According to the timeless thoughts of Colonel Ágost Jacobi:¹⁵ "The engineer soldiers, we mean that large family that not only fought with weapons in hand, but with their knowledge, special equipment, training and ingenuity, were the most loyal and indispensable supporters of the combat forces." This often-cited and fitting statement not only defines the concept of engineer soldiers but also outlines the essential skills that have equipped this long-standing branch to assist and support combat operations for millennia. The spirit of Jacobi Ágost's thoughts, which have been relevant for nearly 100 years and are still forward-looking, lays the foundation for the justified expectation that technical soldiers must adapt to changing circumstances and requirements.

The concept of engineering support, as it is understood today, evolved over a long period and gained its current interpretation. Its concept, objectives and task system developed in parallel with the advancement of armed conflict, and its tasks multiplied according to the needs of the times. The basic elements of engineering support, as defined in both Hungarian and NATO engineering doctrines, include mobility support, counter-mobility, enhancing survivability and general engineering support.

We examined and analysed these task areas to identify specific tasks where 3D printing technology could contribute to more successful and efficient execution. When selecting the appropriate areas for the adaptation of 3D printing technology, we were aided by a SWOT analysis of the manufacturing process, conducted by our research group. The results and findings of this analysis will be published soon.

¹⁵ BALLA–PADÁNYI 2019.

3D printing in the military offers numerous potential applications that can simplify military operations and logistics, making them safer and more efficient. After examining and analysing the technical tasks performed by the engineering units supporting military operations based on their mission, we identified areas where 3D printing could contribute. These include specialised tasks aimed at efficiency in task execution:

- Manufacturing classroom and educational tools: Producing educational aids, such as bridge models or training replicas of explosive devices, essential for the training, education and further skill development of the personnel. Printing educational models and tools that aid students' understanding and make learning more interactive.
- Research tools: Printing specialised laboratory equipment tailored to specific research needs.
- Manufacturing unique or specialised tools: Producing tools, unique or specialised equipment used in the execution of technical tasks.
- Custom tools and equipment: Soldiers can on-site print custom tools and equipment required for special tasks, allowing quick adaptation to changing conditions.
- On-site construction or repair: The technology enables the printing of construction elements or entire structures, such as houses, using concrete, which can reduce construction time and costs.
- Manufacturing prototypes and sample pieces: During the design and development, 3D printing enables rapid on-site production of prototypes and parts from various materials, facilitates faster testing and further development.
- Producing parts and spare parts: This process shortens delivery times reducing supply chain risks. It enables rapid on-site production of parts for military vehicles, bomb disposal robots and other technical equipment, even on the battlefield.
- Production charge housings for demolition and bomb disposal tasks: Using low-density materials, various designs of charge housings can be produced,¹⁶ which can be used for demolishing structural elements or neutralising explosive devices. The application of artificial intelligence in this field, combined with existing research,¹⁷ can further enhance the safety and efficiency of bomb disposal tasks.
- On-site manufacturing, even in the field of operations: Printers optimised for military manufacturing tasks enable mobile production of parts, even on the battlefield.
- Printing tactical maps: To better understand geographic conditions or urban structures, 3D printing can quickly create maps¹⁸ and other informational tools.
- Creating a digital database:¹⁹ Establishing a database and continuously expanding it with printable digital 3D models ensures that authorised users can download and print the necessary components, saving time.
- Simplifying transportation logistics and the supply chain: The manufacturing technology offers units the ability to produce the necessary tools or parts on-site, shortening the supply chain and reducing transportation time, costs and risks.

¹⁶ EMBER-ÁDÁM 2022.

¹⁷ ÁDÁM 2023.

¹⁸ KÁLLAI 2023.

¹⁹ DARUKA et al. 2024b.

- Construction and infrastructure solutions: Large-scale 3D printers optimised for construction tasks provide the opportunity to build various functional structures (e.g. residential buildings, schools, defence structures, etc.), whether permanent or temporary.

The expected results of further development in 3D printing technology are likely to create opportunities for its effective use in additional technical tasks.

Conclusions

In response to recently emerging security risks and tensions escalating into war, a natural protective response has developed among the populations of peace-loving countries. As a consequence, responsible national governments have increased their defence budgets to the necessary extent in line with expected threats, initiating or accelerating the modernisation of their armed forces and further enhancing their defence capabilities. Undoubtedly, the Russo–Ukrainian war was the primary reason why the Hungarian Government promptly raised the defence budget above the expected 2%, contrary to previous plans. This significant additional funding is expected to enable the military's modernisation and upgrading objectives to be achieved in a shorter period.

Enhancing defence capabilities nationally and within alliances demands a modern defence industry that adopts innovative procedures to develop advanced military technology and organisational systems aligned with current needs. Achieving a modern armed force capable of responding swiftly to challenges requires not only the development of existing capabilities but also the creation and integration of new ones that more effectively ensure the attainment of objectives.

The results of our research in this field confirm that the establishment of 3D printing capabilities within the Hungarian Defence Forces is one of the key areas that can contribute to the development of a modern military force with independent manufacturing capacities, in line with current demands. As an additive manufacturing technology, 3D printing has, within just a few years, overshadowed traditional manufacturing processes in many fields due to its numerous advantages. Advantages such as rapid prototyping, material savings, design flexibility and the ability to create complex structures all contribute to achieving greater success and efficiency through its application. Its role is expected to become more prominent in the future, as the capability for on-site manufacturing,²⁰ even in the field of operations, reduces supply chain risks, which is crucial during combat operations.

However, additive manufacturing technology can not only be utilised for general product manufacturing tasks in military logistics, but it can also be effectively applied in various specialised tasks. In the research presented in this article, we accordingly examined the possibilities of using 3D manufacturing processes within engineering units. We explored both the known and untapped advantages to identify the specific technical tasks where 3D printing could serve as a viable alternative to traditional manufacturing methods or procurement. Finally,

²⁰ VÉGVÁRI 2023.

we outlined the personnel and material requirements necessary for implementing 3D printing capabilities in engineering units and for the more efficient execution of specific technical tasks.

References

- Government Resolution 1393/2021 (VI. 24.) on the National Military Strategy of Hungary. Online: <https://defence.hu/news/national-military-strategy-of-hungary.html>
- ÁDÁM, Balázs (2023): Mesterséges intelligencia a tűzszerészfeladatokban – A mesterséges intelligencia által nyújtott lehetőségek, 2. rész [Artificial Intelligence in Explosive Ordnance Disposal Tasks – Opportunities Provided by Artificial Intelligence, Part 2]. *Műszaki Katonai Közlöny*, 33(3), 15–27. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2023.3.2>
- BALLA, Tibor – PADÁNYI, József (2019): Műszaki kiválóságok. Jacobi Ágost Henrik [Engineer Geniuses: Jacobi Ágost Henrik]. *Műszaki Katonai Közlöny*, 29(4), 157–162. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2019.4.10>
- DARUKA, Norbert – DÉNES, Kálmán – EMBER, István – KOVÁCS, Zoltán – VÉG, Róbert (2024a): A 3D nyomtatási képesség kialakításának lehetőségei és korlátai a Magyar Honvédségben [The Possibilities and Limitations of Establishing 3D Printing Capability in the Hungarian Defence Forces]. *Hadtudomány*, 34(E Issue), 27–39. Online: <https://doi.org/10.17047/Hadtud.2024.34.E.27>
- DARUKA, Norbert – DÉNES, Kálmán – EMBER, István – KOVÁCS, Zoltán – VÉG, Róbert (2024b): Digitális adatbázis létrehozásának lehetőségei a Magyar Honvédségben a 3D nyomtatási képesség támogatására [Possibilities of Creating a Digital Database to Support 3D Printing Capability in the Hungarian Defence Forces]. *Honvédségi Szemle*, 152(4), 72–81. Online: <https://doi.org/10.35926/HSZ.2024.4.6>
- EMBER, István – ÁDÁM, Balázs (2022): Kumulatív töltetházak 3D nyomtatása [Shaped Charge Body Producing with 3D Printer] *Hadmérnök*, 17(3), 35–44. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2022.3.2>
- HEGEDŰS, Ernő – GYARMATI, József (2022): A haditechnikai kutatás-fejlesztés helye, szerepe és sajátosságai [State, Role and Speciality of the Defence Research and Development]. *Hadmérnök*, 17(2), 17–32. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2022.2.2>
- KÁLLAI, Attila (2023): Térkép- és tereptani alapismeretek. In DEMETER, József – ISASZEGI, János – KISCELLI, Piroska (eds.): *Honvédelmi alapismeretek: Tankönyv*. Budapest: HM Zrínyi Térképészeti és Kommunikációs Szolgáltató Nonprofit Kft., 330–392.
- KARA, Yahya – KOVÁCS, Norbert Krisztián – NAGY-GYÖRGY, Péter – BOROS, Róbert – MOLNÁR, Kolos (2023): A Novel Method and Printhead for 3D Printing Combined Nano-/Microfiber Solid Structures. *Additive Manufacturing*, 61. Online: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2022.103315>
- NATO (2023): *The Secretary General's Annual Report, 2023*. Online: http://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2024/3/pdf/sgar23-en.pdf#page=155
- VÉGVÁRI, Zsolt (2023): A 3D nyomtatás felhasználási lehetőségei a műveleti logisztikában [Usage Possibilities of 3D Printing in Operational Logistics]. *Katonai Logisztika*, (1–2), 177–198. Online: <https://doi.org/10.30583/2023-1-2-177>
- ZENTAY, Péter – HEGEDŰS, Ernő – VÉGVÁRI, Zsolt (2023a): A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei II. rész: 3D-s nyomtatott alkatrészek mechanikai tulajdonságai minőségjavításának lehetőségei [3D Printing and Its Military Applications Part II: Options for Improving the Mechanical Properties of 3D Printed Parts]. *Haditechnika*, 57(1), 49–55. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.1.09>
- ZENTAY, Péter – HEGEDŰS, Ernő – VÉGVÁRI, Zsolt (2023b): A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei III. rész: A gyártási hibák hatásának mérséklése, hibakiküszöbölési megoldások [3D Printing and Its Military Applications Part III: Mitigating the Impact of Manufacturing Defects, Solutions to Eliminate Defects]. *Haditechnika*, 57(2), 57–62. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.2.11>

Sebők István¹ 

A 3D-nyomtatás helyének és szerepének vizsgálata a fegyverzettechnikai oktatásban²

Investigating the Place and Role of 3D Printing in Weapons Technology Education

A 3D-nyomtatás mint gyártástechnológia már nemcsak lehetőséget, hanem kihívásokat is rejt a fegyverek üzemeltetésében és karbantartásában, sőt leginkább ezek oktatásában. Ezért szükségessé vált ennek a területnek az áttekintése és a feladatok összegzése.

Kulcsszavak: 3D-nyomtatás, oktatás, lőszer, fegyver

3D printing as an industry no longer only contains opportunities but also challenges in the operation and maintenance of weapons and even more so in their training. Therefore, it became necessary to review this area and summarise the tasks.

Keywords: 3D printing, education, ammunition, weapon

Bevezetés

A fegyverzettechnikai területen tanuló hallgatók oktatásában kiemelt helyen szerepel a fegyverek meghibásodásának felismerése, a hibák behatárolása és ezeknek az elhárítása, illetve a kijavítása. Ennek az ellenőrzési elvnek a folyamata a törés, kopás, felverődés hármass elv mentén történik. A hibák minél gyorsabb felismerésével elkerülhetők az alkatrészek további

¹ Tanársegéd, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Haditechnikai Tanszék, e-mail: sebok.istvan@uni-nke.hu

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

károsodásai. Továbbá azok a balesetek, amelyek a fegyver súlyos meghibásodásához, károsodásához és a fegyvert használók, kezelők és a körülöttük tartózkodók esetleges súlyos sérüléséhez vezethetnek.³ A hagyományos fegyverzettechnikai oktatás alapvetően a klasszikus fegyveralapanyagok, az acél és a fa megmunkálásáról, tulajdonságairól és ezen anyagokból készült alkatrészek lehetséges károsodásairól szolt. A javítási elvek és szabályzatok is ezekre a típusú anyagokra korlátozódtak. A nagy mennyiségben megjelenő műanyagok az oktatásban új lehetőségeket biztosítanak, és új kihívásokat fogalmaznak meg.⁴ Ez a tanulmány alapvetően az alkatrészek javításának és utángyártásának a lehetőségeit mutatja be a 3D-nyomtatás lehetőségeinek szemszögéből. Valamint bemutatja azokat a technológiákat, amelyek ismerete elengedhetetlen a fegyverek javításához, illetve „jó karban” tartásához.

A fegyverekhez felhasznált anyagok

A történelem során a lőfegyverek gyártásában két alapvető anyagot használtak fel: az acélt és a fát. Acélból készült a fegyverek csöve és az összes működést biztosító szerkezet, úgymint a fegyverek adogató és elsütő szerkezete, valamint minden olyan szerkezeti elem, amely nagy energiának van kitéve és a fegyver működését szolgálja. Fából készült a fegyver tusa és ágy-szerkezete – ezek a fegyverek megfogását, megtartását és biztonságos kezelését szolgálják. Először az acél anyagokat cserélték le nagy szilárdságú alumíniumra, a fa alkatrészeket pedig műanyagokra.⁵

Az 1980-as évek elején Ausztriában a Steyr cég kifejlesztette az AUG (Armee Universal Gewehr – általános használatú katonai puska) fegyvert. Ennél a fegyvernél szembevetendő a műanyag széles körű alkalmazása. Más fegyvereknél eddig is találkoztunk műanyag túsával (például az amerikai gyártmányú M16 gépkarabély), markolattal (például a magyar gyártmányú AMD gépkarabély) és tárral (a legfontosabb és sokáig legelterjedtebb az akkori NDK-ban gyártott és használt AK–74 fegyver, amely esetében a tár üvegszállal megerősített műanyagból készült).⁶

Az AUG-nál azonban már a funkcionális, mozgó alkatrészek is műanyagból készültek. A műanyag elsütőszerkezet-házba vannak szerelve a műanyagból készült alkatrészek, többek között a műanyagkakas is, a csapok és a rugók kivételével. Az 1982-ben megjelent akkori első generációs GLOCK–17 pisztolynál már bizonyos csapok is műanyagból készültek, tehát a műanyagok alapvető szerkezeti elemként is megjelentek a fegyvergyártásban.⁷ Ez olyan változást hozott a fegyverek gyártásában, hogy már a piacon lévő jól bevált fegyvereket is kezdték áttervezni elsősorban már csak tömegcsökkentés céljából is.⁸

³ KOVÁCS 2023.

⁴ GYARMATI–HEGEDŰS –GÁVAY 2022.

⁵ ZENTAY–HEGEDŰS–VÉGVÁRI 2022.

⁶ ZENTAY–HEGEDŰS–VÉGVÁRI 2023a.

⁷ SEBŐK 2024.

⁸ ZENTAY–HEGEDŰS–VÉGVÁRI 2023b.

A 3D-nyomatás általános bemutatása

A 3D-nyomatás olyan additív gyártási folyamat, amely során valamilyen alapanyagból rétegek egymásra építésével létrehozunk egy kézzel fogható tárgyat. A 3D-nyomatás a hagyományos, úgynevezett szubtraktív technológiákkal ellentétben nem egy adott tömbből a felesleg eltávolításával, forgácsolással alakítja ki az adott modellt, hanem saját anyagából építi fel azt. Ezáltal kevesebb hulladékot termel, valamint újszerű, összetett és más módon nem gyártható geometriák létrehozására képes. Mivel minden mintadarabot egyetlen 3D-modell alapján, egyesével gyárt le a 3D-nyomató (átállási, szerszámzási költségek nélkül, illetve alacsony karbantartási költségekkel), ezért a technológia kifejezetten alkalmas egyedi, akár személyre szabott alkotóelemek, speciális alkatrészek egyedi igények szerinti vagy kisszériás gyártási feladatok végrehajtására.⁹

A 3D-nyomatókat legintenzívebben adaptáló iparágak közé tartozik többek között a gépgyártás, azon belül a hadiipar és a fegyvergyártás. Mivel az ipari minőségben gyártott alkatrészek tekintetében nem lehet megállapítani, hogy egy alkatrész fröccsöntéses vagy nyomtatott technológiával készült, ezért a fegyverzeti területen dolgozóknak és ezen területen tanulóknak ismerniük kell a műanyaggyártási megmunkálás és ezek javításának széles körű folyamatait.

A 3D-nyomatás során felhasznált anyagok ismerete és tulajdonságai

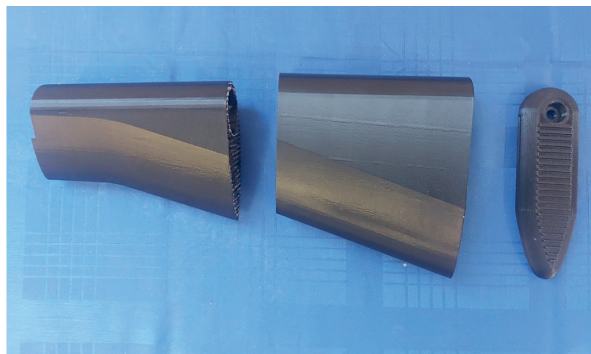
A politejsav más néven Polylactic acid vagy PLA, egy növényi alapú műanyag, amelynek alapanyaga általában kukoricakeményítő. Mint megújuló nyersanyagokból készült, hőre lágyuló polimer, sokan azt állítják, hogy biológiailag lebomlik, de pontosabb azt mondani, hogy iparilag komposztálható.

A PLA-nak mint anyagnak az az alapvető hátránya, hogy a PLA-szál hajlamos deformálódni vagy megolvadni magas hő hatására, ezért nem praktikus olyan alkatrészek esetében, amelyek hőállóságot igényelnek. Ez még a forró környezeti feltételekre is vonatkozik, mint például a napsütésre egy forró nyári napon. A másik hátránya, hogy törékeny anyag. Ütközéskor hajlamos összetörni. Mint ilyen, kevésbé szilárd, mint az ABS vagy a PETG, ezért kevésbé alkalmas tartós mechanikai terhelésű alkatrészek elkészítésére, de az egyik legjobb alapanyag a prototípusgyártás területén.

Az akrilnitril-butadién-sztirol (ABS) egy átlátszatlan, hőre lágyuló műanyag, amely gyakran megtalálható háztartási és fogyasztói termékekben. Például ebből az anyagból készül a jól ismert Lego játék. A PLA után ez az egyik legnépszerűbb anyag. A 3D-nyomatáson túl az ABS kiválóan alkalmas fröccsöntésre és megmunkálásra is.

Ennek az anyagnak a legfőbb hátránya, hogy az ABS-nyomatás során mérgező gőzök szabadulnak fel, ami bonyolulttá teszi a nyomtatószállal való munkát. Szükség van megfelelő szűrőrendszerrel ellátott nyomtatóházra, vagy egy külön, megfelelően szellőző helyiségre, ahol a nyomtatási folyamat zajlik. Továbbá a burkolat azért is szükséges, mert az ABS nagyon érzékeny a hőmérséklet-változásokra, ami a nyomtatandó munkadarab, alkatrész torzulásához, vetemedéséhez, esetleges töréséhez vezethet. A burkolat segít fenntartani a célhőmérsékletet a nyomtatás során.

⁹ VÉGVÁRI 2023.



1. ábra: ABS alapanyagból 3D-nyomatással előállított M16 típusú gépkarabélyra szerelhető tusa

Forrás: a szerző felvétele

A harmadik legáltalánosabb anyag a polietilén-tereftalát-glikol (PETG), egy hőre lágyuló műanyag, amelynek anyagi tulajdonságai miatt kimondottan alkalmas a funkcionális tárgyak számára. Általában vizespalackokban és élelmiszertartályokban található.

A PETG fegyveralkatrész gyártása tekintetében nem használatos, viszont mivel széles körben elterjedt, ezért ismerete szükséges; alapvetően élelmiszer-biztonságos alapanyagnak tekintik.¹⁰ Használható olyan tárgyak készítésére, amelyek étellel érintkezhetnek, ilyenek a konyhai kiegészítők, a kempingeszközök, az edények és egyéb használati cikkek. Az anyag tartós és rendkívül ütésálló. Meglehetősen ellenáll az UV-sugárzásnak is, ami azt jelenti, hogy jól kell teljesítenie kültéri alkalmazásokban. Az anyagnak az a hátránya, hogy a PETG nyomtatószáll hajlamos a nyomtatófejre történő felfűződésre nyomtatás közben. Ennek oka a nyomtatáshoz szükséges magas hőmérséklet, amely lehetővé teszi a filament szabad áramlását, de hajlamosá teszi a szálak elhagyását, miközben a nyomtatófej két pont között halad.

Egy másik hátrány, bár ez kisebb, az, hogy a PETG hajlamos a karcolódásra. Lehet, hogy ez egyes felhasználóknak egyáltalán nem számít, mások számára azonban abszolút kizáró ok lehet. Tulajdonságait tekintve bizonyos területeken a PLA alternatívája lehet.

3D-nyomatással gyártott alkatrészek közötti kötés létrehozása ragasztással

A nyomtató fizikai méretei sok esetben méretkorlátot jelentenek, ezért célszerű a nagyobb munkadarabokat több részletben kinyomtatni, és azokat valamilyen kötéssel összerakni. Műanyagok esetében ezt a kötést az anyagtulajdonságok figyelembevételével, ragasztással is létre lehet hozni.

Mivel a hőre lágyuló műanyagok oldhatók, ezek ragasztását végre lehet hajtani az anyag megfelelő oldószerben való feloldásával. Az alaposan megtisztított és csiszolóvászonnal érdesített felületeket oldószerrel lekenjük, ezután egyesítjük és gyenge nyomás alatt tartjuk.

¹⁰ RÁKOSI et al. 2023.

Gyakrabban ragasztóanyagként nem tiszta oldószert, hanem megfelelő műanyagragasztót használunk, amely jobb minőségű ragasztást tesz lehetővé. Az ABS-alapanyagból, 3D-nyomatással készült alkatrészek összeillesztéséhez és a kötés létrehozásához az acetont az egyik alkalmas anyag. Az ABS oldószerei még az észterek, a ketonok és az etilén-diklorid is. Ez a ragasztási technológia nagyon erős kötést és láthatatlan varratot, illesztést biztosít.

Két darab acetonnal történő rögzítéséhez fel kell vinni vékony acetonréteget mindkét ragasztandó felületre. Ezt meg lehet tenni egy kis ecsettel vagy egy acetonnal átitatott ruhadarabbal. Viszont ügyelni kell a felhasznált acetont mennyiségére, mert a túl sok oldószert alkalmazásakor fennáll a 3D-s nyomtatott alkatrészek károsodásának veszélye (főleg, ha az alkatrészek vékonyak).

A folyamat kémiai és fizikai jellegű. Az oldószert egy vékony réteget old fel a felületeken, amelyeket összeillesztve, enyhe nyomás hatására a felső rétegek összekeverednek. Ez alatt a száradási idő alatt szükség lehet a ragasztott darabok rögzítésére valamilyen szalaggal vagy szorítóval. Néhány perc vagy óra elteltével, az alkatrészek méretétől és a felhasznált acetont mennyiségétől függően, az acetont elpárolog, és erős tömör műanyag réteg képződik. A bemutatott folyamat úgy a legideálisabb, úgy lesz nagyon erős és szinte láthatatlan a réteg, ha megfelelő szakértelemmel végzik el.



2. ábra: Kétkomponensű ragasztóval egyesített három darabban nyomtatott fegyvertusa
Forrás: a szerző felvétele

Ez az eljárás abban különbözik a hagyományos ragasztási eljárásoktól, hogy az összeragasztandó alkatrészeket satuba vagy pillanatszorítóba fogva nyomás alatt kell tartani legalább 6 órán át, szobahőmérséklet mellett. Valamint szükség esetén a mechanikai megmunkálást is végre kell hajtani. Az összeragasztott alkatrészeket a nyomókészülék levétele után 24 órán át még állni kell hagyni. A ragasztás idején a nyomás legyen egyenes és az egész ragasztandó felületet fogja át.

A ragasztás minőségét rengeteg tényező befolyásolja, mint például a ragasztó minősége, a felületek megfelelő előkészítése, a megfelelő ragasztási körülmények, köztük a megfelelő hőmérséklet, de a klasszikus forrasztással és hegesztéssel azonos értékű és minőségű kötést lehet kialakítani.

A 3D-s nyomtatott alkatrészek utólagos megmunkálása

A műanyagok forgácsolásos megmunkálása lényegesen eltér a fémek ilyen típusú megmunkálásától. A műanyagok megmunkálása közben a forgácsoló szerszám a legtöbb esetben erősen kitompul, azt nem szabad vízzel hűteni. Figyelembe véve a műanyagok viszonylagos alacsony szilárdságát, ezek megmunkálásánál rendkívül éles forgácsoló szerszámot kell használni. Ellenkező esetben az anyag részecskéi kiszakadnak, és megnő a megmunkált felület érdessége.¹¹

A 3D-nyomatás egyik előnye, hogy a furatok már a gyártási eljárás során is kialakíthatók, de a nyomtatási irányból származó méreteltérések miatt méretre történő fúrásra szükség lehet. A műanyagok forgácsolásánál nagy fordulatszámot, nagy vágási sebességet és kis előtolást kell alkalmazni. Ha átmenő furatot készítünk vagy marunk, hogy megakadályozzuk a fúró vagy a maró kimenetén az anyag kiszakítását, a megmunkálandó anyagot keményfára vagy fémre kell helyezni. Ha rideg műanyagot kell megmunkálnunk, akkor az anyag felületén repedések keletkezhetnek. Hogy ezeket elkerüljük, csökkenteni kell a fogás mélységét, az előtolás nagyságát, vagy kézi megmunkálást kell alkalmazni.

Az esztergálással való megmunkálást olyan esztergakésekkel kell végrehajtani, amelyek csúcsgugara 3–4 mm. A nagyoló megmunkálásnál a fogásmélység elérheti a 10 mm-t is, de a finom megmunkálás során max. 1 mm-t lehet csak használni.¹²

Ha olyan anyagot esztergálunk, amely szalagforgácsot ad, nagy vágási sebességet, nagy előtolást és kis fogásmélységet kell alkalmazni (például a poliklorvinil műanyag, másik elterjedt nevén poli[vinil-klorid] – PVC – megmunkálása esetén a vágási mélység nem haladhatja meg a 0,5 mm-t). Ellenkező esetben a forgács nem fog leválni az anyagról, rácsavarodik és spontán forrasztási folyamat zajlik le, és ebben az esetben a felesleges anyagdarabok leválasztása új megmunkálást igényel. A marást olyan palástmaróval kell végrehajtani, ahol az élszög 30–80 fok közötti. A palást- és a homlokmarókat, ha azokat rideg anyagok megmunkálására használjuk, azok homlok felőli szélét kb. 1,5 mm sugárral le kell kerekíteni.

Réteges anyagok megmunkálásakor szükséges, hogy a maró szerszám az előtolás irányába forogjon, mert ezzel lehet megakadályozni a rétegek szétválását.¹³

A furatokat olyan fúróval fúrjuk ki csigafúrókkal történő megfúrásakor, megmunkálásakor – mivel az ipari szükséglet nem igényli és speciálisan műanyagok fúrására nincsenek fúrószárak –, amelyeknek a köszörülési szöge függ az anyag fajtájától és a furat átmérőjétől. Ha kis átmérőjű furatot készítünk, az anyag felülete kitépésének megelőzése végett először pontozzuk, majd süllyesszük be nagyobb átmérőre, és csak ezek után fúrjuk ki az átmérő furatot a szükséges méretű fúróval. Utána a megfelelő körátmérő eléréséhez dörzsárazás is szükséges lehet.

Nagyméretű műanyag alkatrészek fúrása esetén „két oldalról” való furatkészítést kell alkalmazni. A furatokba a menetek bevágását óvatosan végezzük, mert az alacsony hővezető képesség és a keletkezett forgács nehéz kivezetése miatt eltömítődnek a metsző vajtai,

¹¹ VÉG 2024.

¹² GYARMATI–HEGEDŰS–GÁVAY 2022.

¹³ DARUKA et al. 2024.

és a menetek egyes esetekben ki is pattoghatnak. A menet szilárdságának növelése érdekében a profil élét gyengén tompítani kell, és lehetőleg nagy menetemelkedést kell alkalmazni. A műanyagok köszörülését, polírozását ugyanolyan módon kell végezni, mint a fémek esetében.

Összefoglalás

A 3D-nyomatás megjelenése és elterjedése felerősítette és felgyorsította a műanyag szerkezetű és a többségében műanyag alkatrészeket tartalmazó fegyverek tudományos és haditechnikai vizsgálatát. Az első időkben a műanyag alkatrészek csupán a fa alkatrészek kiváltását és minimális tömegkönnyítést eredményeztek. Utána folyamatosan megjelentek azok a fegyverek, ahol már a műanyag alkatrészekkel acél szerkezeti elemeket váltottak ki. Ekkor került előtérbe a különböző alkatrészek javításának a gondolata a hagyományos forgácsolásos vagy forgácsolásmentes eljárással. Ezek a technológiák bár régóta léteztek, mégis egyszerűbb volt és gyorsabb az alkatrészek cseréje, mint azok javítása. A 3D-nyomatással olyan helyzet is előállt, hogy azokat az alkatrészeket, amelyeket hagyományos megmunkálással csak 2–3 részegységből lehetett előállítani, egy egységben is el lehet készíteni. Ezek közt vannak olyan nagy méretű alkatrészek, amelyeknek a bemutatott elvek szerint még mindig egyszerűbb az esetleges javítása vagy pótlása, illetve újra legyártása.

Felhasznált irodalom

- DARUKA Norbert et al. (2024): A 3D-nyomatási technológia oktatásának lehetőségei és feltételei a műszakitiszt-képzésben. *Műszaki Katonai Közlöny*, 34(1), 5–18. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2024.1.1>
- GYARMATI József – HEGEDŰS Ernő – GÁVAY György (2022): Automata sebességváltóban alkalmazott kapcsolt bolygóművek – Wilson-váltó. Harckocsi-sebességváltó modell kialakítása 3D nyomatással oktatási célból. *Műszaki Katonai Közlöny*, 32(3), 113–126. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2022.3.7>
- KOVÁCS Zoltán (2023): 3D nyomatás és felhasználása a katonai robbantástechnika oktatásában. In DARUKA Norbert – EMBER István – KOVÁCS Zoltán Tibor (szerk.): *II. Fúrás-Robbantástechnika nemzetközi szimpózium különkiadás*. Budapest: Magyar Robbantástechnikai Egyesület, 94–103.
- RÁKOSI Sára et al. (2023): A 3D-nyomatás biztonságtechnikai és környezetvédelmi aspektusai. *Műszaki Katonai Közlöny*, 33(1), 133–148. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2023.1.10>
- SEBŐK István (2024): A kiképzési célú fegyverzeti eszközök és anyagok 3D-nyomatásának lehetőségei. *Műszaki Katonai Közlöny*, 34(1), 157–165. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2024.1.11>
- VÉG Róbert László (2024): Forgó dugattyús befecskendezőszivattyúk a harc- és gépjárműtechnikában. Befecskendező szivattyú tehermentesítő szelep oktatási célú modell kialakítása 3D-nyomatási technológiával. *Műszaki Katonai Közlöny*, 34(Különszám), 115–128. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2024.ksz.10>
- VÉGVÁRI Zsolt (2023): A 3D nyomatás felhasználási lehetőségei a műveleti logisztikában. *Katonai Logisztika*, 31(1–2), 177–198. Online: <https://doi.org/10.30583/2023-1-2-177>
- ZENTAY Péter – HEGEDŰS Ernő – VÉGVÁRI Zsolt (2022): A 3D-s nyomatás és katonai alkalmazásának lehetőségei I. rész. *Haditechnika*, 56(6), 56–60. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.56.6.09>

- ZENTAY Péter – HEGEDŰS Ernő – VÉGVÁRI Zsolt (2023a): A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei II. rész. 3D-s nyomtatott alkatrészek mechanikai tulajdonságai minőségjavításának lehetőségei. *Haditechnika*, 57(1), 49–55. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.1.09>
- ZENTAY Péter – HEGEDŰS Ernő – VÉGVÁRI Zsolt (2023b): A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei III. rész. A gyártási hibák hatásának mérséklése, hibakiküszöbölési megoldások. *Haditechnika*, 57(2), 57–62. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.2.11>

Hózer Benjámín,¹  Pántya Péter² 

A légzésvédelmi eszközök fejlődésének történeti áttekintése a magyar tűzoltóság és légoltalom szolgálatában a 19. és 20. század fordulóján – 3. rész, oxigén-izolációs³

Historical Overview of the Development of Respiratory Protection Devices in the Hungarian Fire Service and Civil Defence at the Turn of the 19th and 20th Century – Part 3, Oxygen – Isolation

A cikksorozat első és második részben bemutattuk a szűrő jellegű és szűrő típusú légzésvédő eszközöket magyar tűzoltói és légoltalmi vonatkozásban a 19. század végétől a 20. század első feléig. A harmadik és egyben befejező részben az izolációs, oxigén légzésvédelmi eszközök korabeli kivitelét és képességeiket tekintjük át az elérhető irodalmi ismeretek kutatása alapján. Mindemellett ismertetjük a jelenkori párhuzamokat a rendszeresített sűrített levegős készülékekkel, valamint az oxigénlégzők alkalmazhatóságának mai viszonyaival.

Kulcsszavak: légzésvédelem, munkavédelem, szakmatörténet, tűzoltóság, légoltalom

In the first and second parts of the article series, we presented the filter-like and filtering respiratory protective devices in the context of Hungarian firefighting and civil defence from the late 19th century to the first half of the 20th century. The third and final part introduces the contemporary

¹ Doktori hallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola, e-mail: hozer.benjamin@gmail.com

² Egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katasztrófavédelmi Intézet, e-mail: pantya.peter@uni-nke.hu

³ A cikkek elkészültében nagy segítségünkre volt Gordos Marcell magángyűjtő, gázvédelmi kutatótársunk szakértelme, amelyért ezúton is köszönetünket fejezzük ki.

designs and capabilities of isolation and oxygen-based respiratory protective equipment, based on available literary knowledge. Additionally, it provides an overview of modern parallels with standardised compressed air devices and the current applicability of oxygen breathing apparatuses.

Keywords: *respiratory protection, occupational health and safety, history of the profession, fire brigade, air raid precautions*

Bevezetés

A cikksorozat első részében ismertettük a frisslevegős légzésvédőket, amelyek átmenetet jelentettek a nyitott és zárt rendszerű légzésvédő eszközök közt, azonban hermetikus izolációt nem voltak képesek szavatolni a viselő számára. A viselő a levegőt/oxigént nem „vitte magával”, hanem csak a füsttáron kívül tartózkodókra támaszkodhatott, valamint abban bízhatott, hogy a befúvócsövön nem keletkezik végzetes sérülés. Így az előrehaladás által a mozgástér mind jobban leszűkül, a rendszerhibák lehetősége pedig megnőtt.⁴

A Kőszeghi-féle készülék⁵ ugyan már képes volt a teljes izolációt szavatolni, a fejlesztési irányok ennek ellenére mégsem a sűrített levegős készülékek felé indultak meg. Ennek egyik fő oka az volt, hogy a kor technikai szintjén a levegőből leválasztott oxigént könnyebb volt forrásponton cseppfolyósítani, mint a levegőt kompresszorral összsűríteni és palackba tölteni. Az így kapott 1 literes oxigénpalackok még alacsony működési időt szavatoltak. Ugyanakkor a felhasználás elsősorban a bányákban történt, ahol a kárhelyre lehatolás ideje is igen hosszú, akár egy óránál is többre nyúlhatott. Megoldási javaslatként felmerült a palackok számának növelése, illetve a kilélegzett levegő kémiai megtisztítása és visszaforgatása a készülékbe. Mindkét vonalon történtek fejlesztések, de érdemi elterjedést csak a visszaforgatásos készülékek tudtak felmutatni. Ugyanakkor a palackos sűrített levegős vonal sem halt el teljesen, mivel a búvárok alkalmazásában inkább ezek terjedtek el.

1. táblázat: Egy korabeli táblázat az emberi test levegő- és oxigénigényének változásáról a terhelés függvényében

	A test levegőszükséglete percenként	Oxigénfogyasztás
Fekve:	6 liter	0,24 liter
Ülve:	7 liter	0,30 liter
Állva:	8 liter	0,36 liter
Óránként 3,2 km menetelre:	14 liter	0,65 liter
Óránként 6,4 km menetelre:	26 liter	1,20 liter
Lassú futásban:	43 liter	2,00 liter
Nagy megerőltetésben:	65–100 liter	3,00–4,00 liter

Forrás: DUNAY 1936

⁴ HÓZER-PÁNTYA 2024.

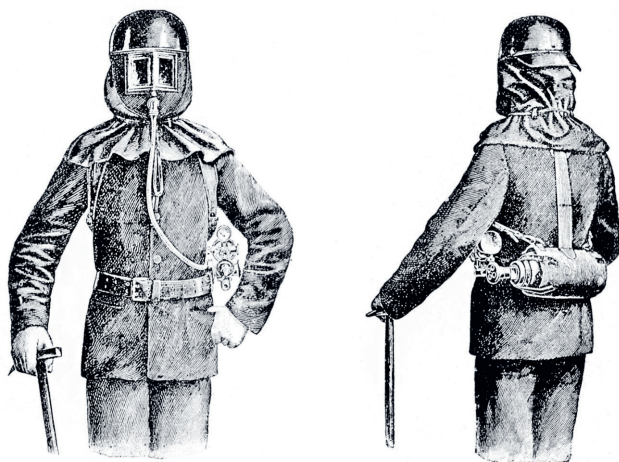
⁵ BERKI 2018.

Típusleírások

Az előzőleg megjelent cikkrészekkel ellentétben pontos modellbemutatóval itt nem szolgálunk, mivel a vizsgált korszakban számos szerkezetileg eltérő, de működési elve szerint megegyező oxigénlégző volt forgalomban. Emiatt ebben a fejezetben csak általános ismertetést nyújtunk az oxigénlégzők működési elvéről és használhatóságáról pro és kontra. Mindezek mellett kiemelünk két típust, a Dräger KG120-ast és KG130-ast, amelyek közel negyven évig szolgálták a magyar tűzoltóság kötelékében.

Zárt rendszerű légzésvédők: oxigénlégzők

Jelen fejezetben az oxigénlégzőket két nagy csoportra bontjuk: a sűrített oxigénnel működő *palackos* légzőkre, valamint a frissítés elvén alapuló, korabeli szakterminológia szerint '*regenerációs*', '*körforgásos*', '*körfutó*', '*önmentő*' vagy '*újralégzőkre*'. A palackos légzők működési elve megegyezik a jelenleg alkalmazott sűrített levegős légzőkével. Az álarc lehetett teljes vagy félálarc, illetve csutorás változatok is elérhetőek voltak. Elterjedésük azonban igen szűkös, mivel a palackokat jellemzően 120–150 atmoszféra⁶ (atm) nyomással töltötték fel 1 literes űrtartalom mellett, amely rövid – mintegy negyedórás – működési időt szavatolt. Emiatt egyes változatokon két palack is volt, mindezek ellenére érdemben az újralégzők terjedtek el.



1. ábra: Frissítés nélküli egypalackos oxigénlégző

Forrás: KÁLLAI 1910

⁶ Ez megközelítőleg ugyanennyi bart jelent.

Egy 1936-ban megjelent tanulmány⁷ bemutatja a környezeti levegő összetételét, amely 79,07% nitrogén, valamint 20,93% oxigén. A kilélegzett levegő 79,58% nitrogénből, 16,03% oxigénből és 4,38% szén-dioxidból (CO₂) tevődik össze. A fennmaradó 0,01% oxigént a szervezet megköti. Az újralégzők feladata a megborult arányok helyreállítása, azaz a szén-dioxid megkötése, valamint az oxigén visszapótlása. A használat során a nitrogén általi kémiai feladás elkerülése érdekében törekedni kell a nitrogénszint minél alacsonyabb szinten történő tartására, például kifújít levegővel venni fel az álarcot, valamint használat előtt a rendszert oxigénnel átöblíteni.

Az ingalégzés jellegzetes tünete a szén-dioxid felhalmozódása a tüdőben. A szén-dioxid izgató hatása az embert gyakoribb levegővételre ösztönzi. Az oxigénes légzők pozitív élettani hatása, hogy amíg a CO₂ gyakoribb levegővételre ösztönöz, addig a tüdőben oxigénbőség esetén ritkább légvétel is elegendő, emellett diszkrét teljesítményfokozó hatása is van. Munkavégzés során az izmokban lévő glikogén tejsavvá alakul át. A belélegzett levegő oxigénje a véráramon keresztül a felhalmozódott tejsavat szén-dioxiddra bontja. Ha a szervezetbe kevés oxigén jut be, a tejsav felhalmozódik, ami kifáradáshoz vezet. Gázvédelmi szempontból tehát alapvető célunk a kilélegzett levegőben lévő CO₂ megkötése/eltávolítása a légzőrendszerből.

A tiszta oxigén belélegzése nem jár élettani szempontból káros következménnyel mindaddig, amíg a nyomása 2 atm (~2 bar) alatt marad. Ezen nyomásérték fölött mérgezőes tünetek jelentkezhetnek. Előbbi bizonyítéka, hogy tiszta oxigén belélegzése mellett is a kilélegzett levegő CO₂-tartalma továbbra is csak 4%, míg a felhasznált oxigén mennyisége szintén csak 4%. Ez az arány nem változik jelentősebb megterhelés mellett sem, mivel a szervezet csupán több oxigént köt meg.⁸

Az oxigénlégzők felépítésénél korabeli kutatók több különböző feltételrendszert is meghatároztak az évtizedek során. A gyártástechnológia fejlődésével és a szélesedő alkalmazási kör okán ezek a kritériumok mind jobban kiélesedtek. Ezek közül egy 1908-as és egy 1936-os kialakítású keretrendszert tekintünk át:

1908

1. Két óráig tartó, folytonos és biztosított használhatóság.
2. Legnehezebb munkateljesítmény esetén kellő mennyiségű levegővel lássa el a mentőmunkást a készülék.
3. A készülékben levő lélegzésre szolgáló anyag mennyisége mindenkor, tehát használat előtt, közben és után kifogástalanul meghatározható legyen.
4. Az üzembe helyezésen kívül semmiféleképpen ne követelje meg a munkás tevékenységét.
5. A belélegzett levegő szénsavat ne tartson.
6. A légzőszerveket a készülék a külső mérgező gázaitól védje meg, hogy e szervek a lélegzés munkáját szabályszerűen végezhessék.

⁷ DUNAY 1936.

⁸ DUNAY 1936.

7. Védje a munkás szemét a füsttől és marógázoktól, viszont ne kisebbítse a látóterét túlságos mértékben.
8. Tegye lehetővé a munkások közötti érintkezést a beszéd felhasználásával.
9. Szerkezete erős és kevés finom, mechanikai alkatrészből álljon.
10. Használatra állandóan készen legyen és a benne elraktározott légzésre szolgáló anyag elpárolgási vesztesége lehetőleg csekély legyen.
11. Üzembehelyezése gyors, használat után jókarbantartása kényelmes legyen.
12. A készülék alkatrészeinek elhasználása, kopása használatlanság, gyakorlat és veszélyek leküzdése közben csak csekély lehet.
13. A készülék kivitele gondos és pontos.
14. Ára mérsékelt, a légzésre szolgáló anyag pedig olcsó legyen.
15. Csekély súly.”⁹

1936

- „1. A készülék viselőjének a szükséges levegőmennyiség mindig rendelkezésre álljon.
2. A test oxigénszükséglete mindig fedezve legyen.
3. A belélegzett levegő oxigéntartalma 15% alá ne süllyedjen.
4. Az oxigén nyomása a készülék azon részében, ahonnan közvetlenül belélegezzük, 2 atmoszféra fölé ne emelkedjék.
5. A készülékben uralkodó légzési ellenállás különösen kilégzéskor bizonyos mértéket túl ne haladjon.
6. Oly oxigénlégzőknél, amelyekben a kilégzett levegő szén-sav és vízgőz tartalmát megköjtjük (regenerációs készülékek) ezeken kívül még a további követelmények szabhatók:
7. A megtisztított kilégzett levegő szén-sav tartalma bizonyos érték alatt maradjon (1%).
8. A megtisztított kilégzett levegő vízgőz tartalma ne lépjen át bizonyos határt.
9. A belélegzett levegő hőfoka egy bizonyos érték alatt legyen, melynek nagysága függ a nedvességtartalomtól.” (Száras levegőnél 50 °C, nedves levegőnél 30 °C.)¹⁰

Az oxigénlégzők felépítési elve szerint nem hivatalos kategóriaként felállíthatjuk még a nyitott és zárt szerelvényterű készülékeket. A nyitott szerelvényterű készülékek jellemzően nyakba akasztott és mellen viselt, szövetre erősített szerelvényekkel rendelkeznek, míg a zárt szerelvényterűeket a háton viselik, alumínium szerelvénydoboz mögött. A nyitott szerelvényterű készülékek előnye az alacsonyabb súly, ellenben korlátozottabb mozgás, valamint a mechanikai behatásokkal szembeni gyengébb ellenállás. Ugyan a zárt szerelvényterű esetén az alumínium doboz további súly- és méretgyarapodással jár, azonban a szerelvények is védettebbek. Hazánkban csak a zárt szerelvényterűvel rendelkező modellek terjedtek el.

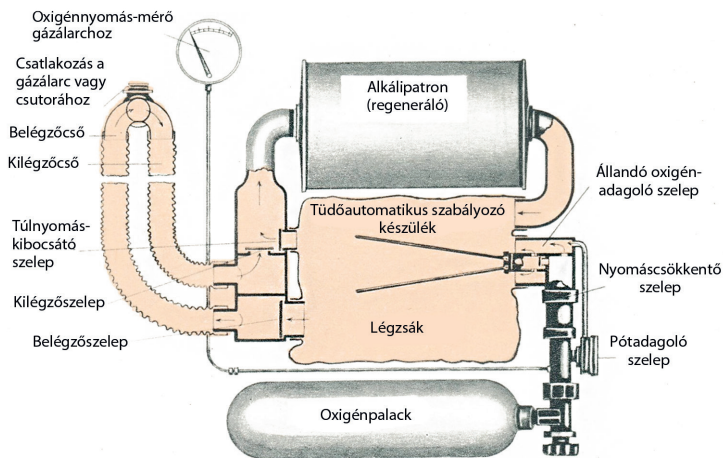
Az újralégzők fő részei az alábbiak:

- az álarca és az összekötőtömlő(k);

⁹ HAGEMANN 1908.

¹⁰ DUNAY 1936.

- a szerelvények (reduktorok, nyálfogó, hangos figyelmeztető, oxigén-manométer);
- a lúgos szelence (alkálipatron);
- a légszák;
- és az oxigénpalack.



2. ábra: A zárt szerelvényterű újralégzők általános felépítése

Forrás: Gáz- és porvédelem az iparban 1939

Az álarc lehetett csutorás, fél- vagy teljes álarc. A csutorás előnye, hogy az oxigénfelhasználás mérsékeltebb, ugyanakkor a kommunikációt ellehetetleníti. Mindezek mellett az orra csíptetőt kellett helyezni, valamint a szem védelmét is plusz szemüveg látta el. A csíptetőt sokan képtelenek voltak megszokni, így tényleges alkalmazásban a teljes álarcok terjedtek el.

Az összekötőtömlők szerint az oxigénlégzők lehetnek egy légutas (egytömlős | ingalégzés), valamint két légutas (kéttömlős | körfolyamatos) elrendezésűek. Az újralégzők közt mindkét változatot használtak, de itthon csak a két légutas terjedt el érdemben.

A hangos figyelmeztető működésbe lép, ha:

- az oxigénpalack kiürült (sok helyütt tévesen „20 atm nyomás alatt” szerepel);
- nem nyitottuk meg az oxigénpalack szelepkerekét (kémiai fulladás a nitrogéntől);
- a hangos figyelmeztetőhöz vezető cső megsérült, megfagyott vagy eldugult.¹¹

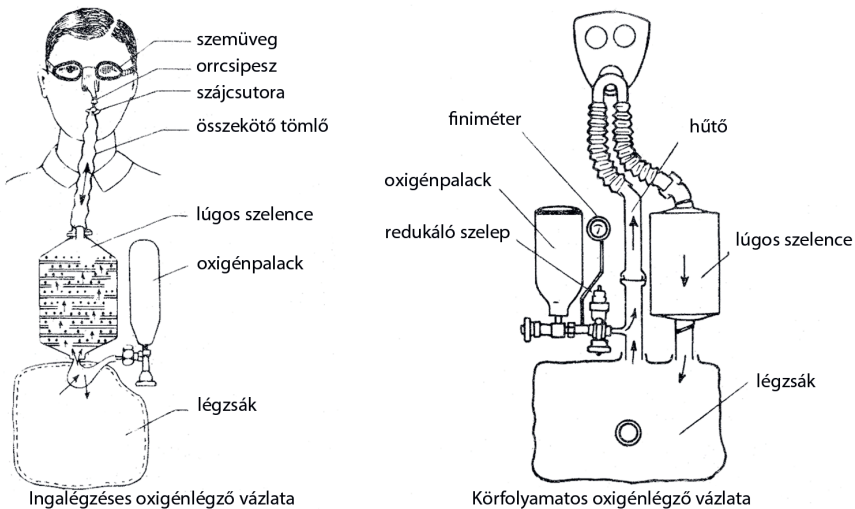
A lúgos szelence használati ideje egy vagy két óra. A lúgos szelencét pellet formában káli-lúggal (kálium-hidroxid), nátronlúggal (nátrium-hidroxid) vagy ezek kombinációjával töltik fel. A szelence töltőanyaga a kémiai folyamat során cseppfolyósodik és folyékony maró lúg képződik. Ha a patron rázásra nem zörög, akkor kimerült. A kilélegzett alkohol bevonatot képez a lúgdarabokon, ami meggátolja a szelence működését. A szén-dioxid megkötése

¹¹ Tűzoltófelszerelések 1954.

során az alábbi reakció megy végbe: $2 \text{NaOH} + \text{CO}_2 = \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ (nátronlúg esetén),
 $2 \text{KOH} + \text{CO}_2 = \text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ (káliólúg esetén).

A légszák gumí vázsonnal borított gumiszák, ami hasznos térfogata legalább 5 liter. A pótagadoló túlzott használata során a légszákban keletkező túlnyomást (2 atm felett) a túlnyomást kibocsátó szelep vezeti le.¹²

A hazánkban alkalmazott oxigénpalackok űrmérete 1 vagy 2 liter volt, amelyeket egyes kétórás működési idejüként szokás említeni. Az oxigén cseppfolyós halmazállapotban 98–99% tisztaságú, a többi rész nitrogén. Az 1 literes űrméretű palack 150 atomszféra kiinduló nyomáson 150 liter oxigénnek felel meg 98%-os tisztaság mellett. 150 liter oxigén esetén 3 liter nitrogén is jelen van. Amikor a hangos figyelmeztető megszólal, a légszákban már csak 3 liter nitrogén és 2 liter oxigén található, ezért 20–30 atm alatt a munkát fel kell függeszteni.¹³



3. ábra: A nyitott szerelvényterű egy légutas (b) és két légutas (j) oxigénlégzők felépítése

Forrás: DUNAY 1936

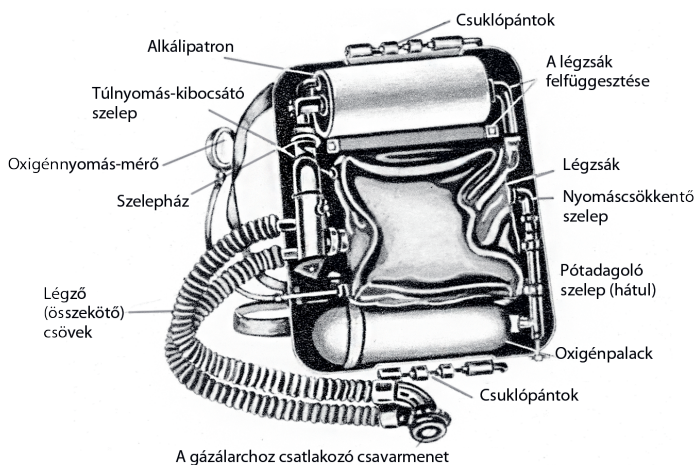
Az újralégzők működési elve

Az álcába egy kilégző és egy belégző szelep vezet. Légvételkor a belégzőszelep nyit és a kilégzőszelep zár, illetve kifújáskor fordítva. Kilégzéskor a levegő a gázálcokkal ellentétben nem a szabadba kerül, hanem a kilégzőcsövön keresztül vissza a készülékbe. Ezt követően folytatja útját egy lúgos szelence (alkálipatron) irányába. A szelence nemcsak a kilélegzett levegőben található szén-dioxidot, de a vízpárát is megköti. A vegyi reakció során jelentős

¹² *Légoltalmi ismeretek* 1937.

¹³ *Tűzrendészet és Kárelhárítás II.* 1948.

mennyiségű hó fejlődik (70–80 °C), ugyanakkor a patron levegőszárító hatása révén a viselőt a munkavégzésben ez nem befolyásolja hátrányosan érdemben. Az így megsűrített levegő egy csövön át a légszakba kerül. A légszakban lévő levegőbe egy nyomáscsökkentő szelepen át visszatöltődik az elhasznált oxigén a palackból, amely egyben a táguló gáz elvén hűti is a levegőt. Ha a légszakban lévő nyomás meghaladja a 2 atm-t, a túlnyomás egy részét a készülék levezeti. A fennmaradó oxigénnel visszapótolt és megtisztított levegő ezáltal újra belélegezhetővé válik a viselő számára. A magyar tűzoltóságnál alkalmazott leggyakoribb típusok a Dräger gyár KG120-as és KG130-as szeriái voltak. Az utóbbit német licensszel gyártotta a magyar Vadásztöltény, Gyutacs- és Fémárugyár Rt. is.



4. ábra: A Dräger KG120-as típusú újralégző szerkezeti felépítése

Forrás: Gáz- és porvédelem az iparban 1939

Az oxigénlégzők működése lehet:

- szakaszos,
- állandó,
- tüdőautomatikus
- és kombinált.

Szakaszos üzemeltetés esetén a légszakot megtöltjük oxigénnel, majd az oxigénpalack szelepét elzárjuk. Ha a légszak kiürül, a szelepet újra kell nyitni, azonban időt vesz igénybe, míg a légszak feltölt. Állandó üzemeltetés esetén ilyen probléma nincs, azonban túlnyomás során a felesleget ki kell engedni, ami oxigénpazarlással jár. Állandó üzemeltetés esetén a szelep 1,5–2,1 liter oxigént enged ki percenként, amely közepes megterhelés mellett elegendő. Nagy megterhelés esetén, illetve ha a légszak kiürül, pót/segédadagoló segítségével többletoxigént lehet kiengedni. Szintén a pótadagoló nyitható meg a rendszer átöblítéséhez. A tüdőautomata a segédadagolót automatikusan megnyitja a levegőfogyasztás figyelembevételével. A tüdőautomata ebben az esetben nem más, mint egy légszakhoz benyúló karhoz erősített szelep,

amely figyel a légszak összehúzódását és ennek függvényében adagol oxigén-utánpótlást. Kombinált működés esetén állandó adagolás mellett a tudóautomata figyel a légszakot és automatikusan visszapótol.¹⁴



5. ábra: I. kerületi tűzoltó, Dräger KG120-as típusú újralégzővel. A légző képes volt a 34M álarc fogadására, a kilégző-szelep lezárása és a belégzőszelep eltávolítása mellett

Forrás: Nemzeti Archivum 1958

Zárt rendszerű légzésvédők: proxilénlégzők

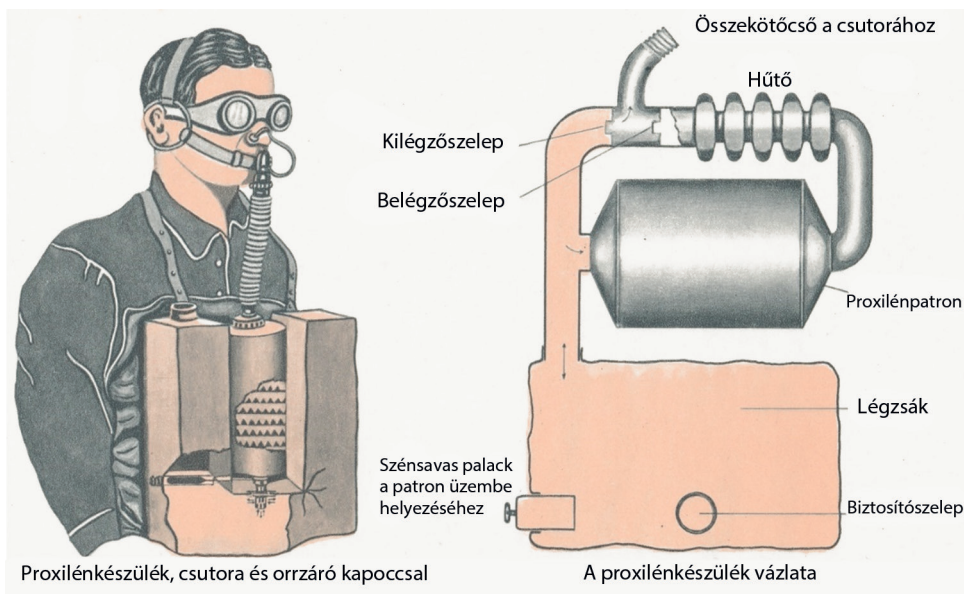
Az oxigénlégzők egyik változata az úgynevezett *proxilén* légző. A proxilénlégzők egy légutas konstrukcióban, kémiai folyamat révén, proxilénpatron segítségével állítják elő a légzéshez szükséges oxigént. A patronba nátrium-szuperoxidot töltenek, amely a kilégzett levegő szén-dioxid- és vízgőztartalmából fejleszt oxigént. A folyamat 360 °C-on megy végbe, így a belélegzés előtt egy bordás hűtőn kell a levegőt átvezetni. Működési idejük jellemzően 45–50 perc.¹⁵ A proxilénpatronok nem terjedtek el érdemben drága és körülményes használatuk miatt, valamint amiért az oxigénfejlesztés nem tart lépést a munkavégzés tempójával.

Amíg a patron nem éri el az üzemi hőfokát, addig nem szavatolja a minimum 15% oxigénszintet. Ennek kiküszöbölésére indítópatron közbeiktatásával is kísérleteztek, amely már jelentősen bonyolította a kezelést. A II. világháború utáni szakanyagok a proxilénlégzőket említik még '*oxigénlégző*'-ként is; ilyen az IP-4 típus, amelynek szelencéjébe kálium-szuperoxid töltet került. Az IP-4-hez készült szakutasítás kiter arra is, hogy a szelence tartalmát ne érje nedvesség, ellenkező esetben a patron kigyulladhat, de fel is robbanhat.¹⁶ Az üzemszerű működéshez indítópatronnal is felszerelték, amely jellemzően egy szén-dioxid-patronnal jelentett: ez meggyorsítja a proxilénpatronban az üzemi hőfok elérését.

¹⁴ DOBOSSY 1938.

¹⁵ SIMÓ 1939.

¹⁶ IP-4 oxigénlégző készülék műszaki leírás és használati szakutasítás 1982.



6. ábra: A proxilénlégzők felépítése

Forrás: Gáz- és porvédelem az iparban 1939

Jelenkori párhuzamok

A sűrített levegős légzőkészülékekkel szemben a modern kori újralégzők legnagyobb előnye a jóval hosszabb működési idő. Sűrített levegős készülékekkel a másfél órás működés is legfeljebb dupla palackkal érhető el, azonban újralégzők alkalmazásával ez az idő akár 3–4 órára is meghosszabbítható. A legtipikusabb alkalmazási terület ezáltal elsősorban a bányamentés.¹⁷ Tekintve, hogy Magyarországon jelenleg nincs üzemelő mélyművelési bánya,¹⁸ ezért a bányamentői¹⁹ szaktevékenység is szünetel.

A sűrített levegős készülékek előnye, hogy üzemben tartásuk olcsóbb és kevésbé körülményes. A megszakított használat után újra használhatók, ugyanakkor az oxigénes légzők szelencéje állás közben is merül. A sűrített levegős készülékeknél a beszívott levegő nem meleg, emellett a kémiai fulladás veszélye nem áll fenn. A modern teljes álarcokat egy belső segédálarccal látják el, amely az orrot és a szájat fedi, ezáltal stabilizálja a látóteret és jelentősen csökkenti a párosodást. Emellett a sűrített levegős készülékekhez mentőálarc (úgynevezett *revitox*) is csatlakoztatható.

¹⁷ PINKÓCZI 2013.

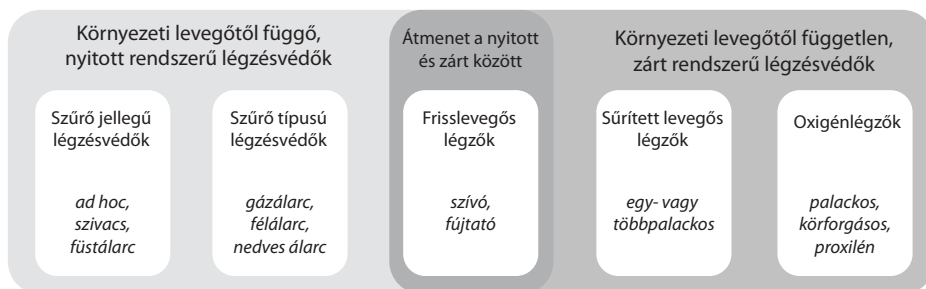
¹⁸ VÖRÖS 2021.

¹⁹ Nem tévesztendő össze a barlangi mentéssel.

Az oxigénpalackot azonban csak ipari oxigénpalackról lehetséges feltölteni. Töltéskor figyelni kell, hogy a csatlakozó szerelvényekre gépszír, gépolaj ne kerüljön, mivel oxigénnel érintkezve robbanóképes elegyet alkot. A sűrített levegős készülékek tartályait (palackjait) a tűzoltóságokon laktanyai körülmények közt is újra lehet tölteni és használatra késznek lesznek, nem kell a lúgos szelence beszerzésének és raktározásának kérdéskörét kezelni. A sűrített levegős készülékek súlya alacsonyabb és mérete is kisebb, ami lehetővé teszi az A típusú gáztömör védőruhával kombinált alkalmazást. Általános alkalmazási helyzetekben – vagyis az esetek közel 100%-ában – a sűrített levegős készülékek megfelelnek minden feladatra, amelyek jelenleg Magyarországon és a világ nagy részén tűzoltói alkalmazásban előfordulhatnak.

Összegzés

A cikksorozatunkban tárgyalt különböző légzésvédelmi eszközök csoportosító rendszerezését az alábbi ábra szolgálja:



7. ábra: A légzésvédelmi eszközök csoportosítása működési elvük szerint

Forrás: Hózer Benjámín szerkesztése

A 7. ábrán látható az egyes légzésvédelmi megoldások a már tárgyaltak szerinti kategóriákba sorolása. A 21. században magyar tűzoltói alkalmazásban már csak a sűrített levegős légzőknek van általános létjogosultsága a feltüntetett megoldások közül. Azonban mire ehhez a felismeréshez eljutottunk, hosszú technikai fejlődés vezetett, amelyben az oxigénlégzőknek úttörő szerep jutott.

Az újralégzők előnye, hogy a kor követelményeihez képest teljes izolációt voltak képesek szavatolni. Kétórás működési idejük pedig bányamentéseknél is jól alkalmazhatóvá tette őket. Hátrányuk a körülményes előkészítés és a jelentős szakfelkészítést igénylő használat volt. A lúgos szelencék raktározásánál nagyon kellett ügyelni a sértetlenségre és a megfelelő páratartalomra, ellenkező esetben a vegyi reakció a polcon is elindult. Az újralégzők tekintetében ugyanakkor mindenképp meg kell említenünk, hogy világszerte a bányamentők első számú felszerelése, a manapság elérhető három- vagy négyórás kivitelben. Ilyen változatuk egyes külföldi tűzoltóságokon is megtalálható csekély számban. A hosszú védelmi időből eredő létjogosultságuk még sokáig nem lesz megkérdőjelezhető.

Felhasznált irodalom

- BERKI Imre (2018): Az ötlet – Kószeghi-Mártony Károly találmánya – a sűrített levegős légzőkészülék. *Védelem Tudomány: Katasztrófavédelmi Online Tudományos Folyóirat* 3(4), 201–224. Online: <https://ojs.mtak.hu/index.php/vedelemtudomany/article/view/13300>
- DOBOSSY Elek (1938): *Gázvédelmieszközök*. Budapest: „IGÉVÉ” Ipari- és Gázvédőeszközök Kft.
- DUNAY Sándor (1936): *A műszaki gázvédelem alapelvei*. Budapest: Magyar Királyi Honvédelmi Minisztérium.
- Gáz- és porvédelem az iparban* (1939). [H. n.]: Országos Társadalombiztosító Intézet.
- HAGEMANN, Ferdinand Dr. Ing. (1908): *Bergmännisches Rettungs- und Feuerschutzwesen in der Praxis und im Lichte der Bergpolizei-Verordnungen Deutschlands und Österreichs*. Freiberg: [k. n.].
- HÓZER Benjámin – PÁNTYA Péter (2024): A magyar tűzoltósági és légoltalmi légzésvédelmi eszközök történeti áttekintése a 19. és a 20. század fordulóján – 1. rész, a szűrőjellegűek. *Műszaki Katonai Közlöny*, 34(2), 127–140. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2024.2.9>
- IP–4 oxigénlégző készülék műszaki leírás és használati szakutasítás* (1982). [H. n.]: Magyar Néphadsereg Vegyivédelmi Főnökség
- KÁLLAI Géza (1910): Mentés és első segélynyújtás a bányászatban II. rész. *Bányászati és Kohászati Lapok*, 43(18), 321–351.
- Légoltalmi ismeretek* (1937). Budapest: Magyar Királyi Országos Légvédelmi Parancsnokság.
- PINKÓCZI Tamás (2013): 4 óra használati idejű oxigénes légzőkészülék alkalmazhatósága a katasztrófavédelmi tevékenységek során. *Bolyai Szemle*, 22(Klsz.), 211–224. Online: <https://docplayer.hu/11100595-Bolyai-szemle-kulonyszam.html>
- SIMÓ Béla (1939): Az ipari porok, gőzök, gázok, ködök és füstök elleni védekezés eszközei. *Munkaügyi Szemle*, 13(4), 169–174.
- Tűzrendészet és Kárelhárítás II.* (1948). [H. n.]: Országos Tűzoltóparancsnokság.
- Tűzoltófelszerelések* (1954). [H. n.]: Belügyminisztérium Tűzrendészeti Parancsnokság.

Internetes források

- Nemzeti Archívum (1958): *Katasztrófavédelem – Tűzoltó gyakorlat*. Online: <https://nemzetiarchivum.hu/photobank/item/MTI-FOTO-WVpEVVZLOFgxFNkV0RUMXZFN0VJZz09>
- VÖRÖS Szabolcs (2021): Ballada a homályból – Így zár be az utolsó mélyművelésű magyar bánya. *Válasz Online*, 2021. március 2. Online: <https://www.valaszonline.hu/2021/03/02/bakonyoslop-bauxit-banyaszat-riport/>

Mohai Ágota Zsuzsanna,¹ Szabó István László,² Elek Barbara³

Az emberi tényezők szerepe a tűzjelző berendezések hatékonyságában

The Role of Human Factors in the Effectiveness of Fire Alarm Systems

A tűzjelző berendezések kétségkívül meghatározó biztonságnövelő tényezővé váltak a mai létesítményekben. A tűzjelző eszközöket fejlesztők és gyártók által kínált innovatív megoldások a kiforrott előírásokkal együtt megeremtik a lehető legmagasabb szintű aktív tűzvédelem lehetőségét, növelve ezzel az egész épület tűzbiztonságát. A technikai megoldások széles tárháza ellenére nem szabad elfeledkeznünk arról, hogy ezeket a berendezéseket emberek tervezik, telepítik és kezelik, és a tűzjelzés fő célja is az emberek riasztása annak érdekében, hogy minél gyorsabban elhagyják az épületet tűz esetén. Az emberi tényező a tűzjelző berendezések létesítésének és üzemeltetésének több fázisában is meghatározó jelentőségű. Cikkünk kérdőíves kutatások segítségével vizsgálja az emberi tényezők szerepét két érintett csoportra fókuszálva. A két érintett csoport a tűzjelzőközpont-kezelők és maguk az épületben tartózkodó, tűz esetén kiűritendő emberek.

Kulcsszavak: beépített tűzjelző berendezés, tűzjelzés, kiűrités, tűzvédelmi oktatás

Fire alarm systems have undoubtedly become a major safety factor in today's facilities. Innovative solutions offered by fire alarm developers and manufacturers, together with mature regulations, create the possibility to provide the highest possible level of active fire protection, thus increasing the fire safety of the whole building. However, despite the wide range of technical solutions, it should be remembered that these devices are designed, installed and operated by people, and the ultimate aim of fire alarm is to warn people of a fire so that they can leave the building as

¹ Tanársegéd, Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Biztonságtudományi és Kibervédelmi Intézet, e-mail: mohai.agota@bgk.uni-obuda.hu

² Üzemeltetési igazgató, Civil Rendszertechnika Kft., e-mail: szil921027@gmail.com

³ Egyetemi docens, Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Biztonságtudományi és Kibervédelmi Intézet, e-mail: elek.barbara@bgk.uni-obuda.hu

quickly as possible. The human factor is crucial at several stages of the installation and operation of fire detection systems. The aim of our research is to investigate the role of human factors by means of questionnaire research, focusing on two affected groups. The two affected groups are the operators of the fire alarm control panels and the people occupying the building who must be evacuated in the event of a fire.

Keywords: fire alarm system, fire alarm, evacuation, fire safety education

Bevezetés

Kutatásunkban két olyan embercsoportot vizsgáltunk, akiknek azonnali, célirányos, megfelelő és hatékony reagálása egy épületben keletkező tűzjelzésre szükséges ahhoz, hogy a tűzjelző berendezés betöltse feladatát és az épület kiürítése biztonságosan megtörténjen. A tűzjelző berendezések alkalmazásának kulcsszerepe van abban, hogy a nagyobb épületekből tűz esetén az embereket időben ki tudjuk menekíteni. A tűzjelző berendezések hatékonyságát egyértelműen befolyásolja az érintettek reagálása a tűzjelzésre.

A biztonsági szolgáltatások minősége világszerte stratégiai jelentőségű, különösen a vállalati és közintézményi környezetben, ahol a tűzbiztonság kulcsfontosságú a működés biztonsága, az élet- és vagyonvédelem szempontjából. Magyarországon az élősűrűség és az erős őrzés piaca az elmúlt években jelentős változásokon ment keresztül, amelyek között kiemelkedik a képzett biztonsági személyzet hiánya és a magas fluktuáció.⁴ Ez megnehezíti, hogy megfelelően felkészült személyek lássák el többek között a tűzjelző központok állandó felügyeletét.

Célkitűzések

Az egyik célcsoportunk, akik körében kérdőíves kutatást végeztünk, az épületben tartózkodó emberek, akiknek a biztonsága érdekében a tűzjelző berendezések működnek. Az ő „feladatuk”, hogy a tűzjelzést hallva azonnal megkezdjék a menekülést, és a lehető legrövidebb időn belül elhagyják az épületet. Régóta vizsgált kérdés, amire mi is keressük a választ, hogy az emberek ténylegesen így tesznek-e, mi befolyásolhatja döntésüket a menekülés megkezdése előtt pro és kontra.

Másik kérdőíves kutatásunk célcsoportja a tűzjelző központok felügyeletét ellátó biztonsági személyzet, akiknek meghatározó szerepe van a tűzjelző berendezések által indított kiürítések során. Célunk, hogy felmérjük a tűzjelző központok felügyeletét ellátók felkészültségét, az oktatások gyakoriságát és hatékonyságát, jártasságukat a tűzjelző központ kezelésében, a tűzjelzést követő teendők ismeretét és tájékozottságukat többek között a téves jelzésekkel kapcsolatban.

⁴ Biztonsági piac 2020.

Kutatásunk hazai és nemzetközi viszonylatban is hiánypótló, amivel szeretnénk hozzájárulni a tűzvédelmi oktatások és a biztonsági szolgáltatások minőségének javításához, valamint a tűzbiztonsági kultúra fejlesztéséhez Magyarországon.

Kérdőíves kutatás az épületben tartózkodó, kiűritendő emberek körében

A vizsgált célcsoportot az összehasonlíthatóság érdekében szűkítettük, a kérdőívezést olyan irodai dolgozók körében végeztük el, akik tűzjelző berendezéssel védett épületben dolgoznak. Mivel az Európai Unióban az Eurostat statisztikái⁵ szerint a teljes foglalkoztatottak körében az ülőmunkát végzők aránya a legmagasabb (tagországonként eltérő, de az átlag 39%), az irodai környezetben dolgozók a munkavállalók jelentős részét teszik ki. A kutatásunk fontosságában megerősítettek minket azok a tapasztalatok is, hogy a riasztandó személyek gyakran nem úgy reagálnak a tűzjelzésre,⁶ ahogy azt elméletben várnánk. Az egyik legismertebb tanulmány⁷ a témában rámutatott arra, hogy a tűzriasztások ellenére arányaiban sok dolgozó késlekedik a menekülés megkezdésével. Az anonim kérdőíves kutatást egy amerikai irodaházban dolgozók körében végezték el az épületben történt tüzesetet követően. A válaszok alapján az átlagos „késlekedési idő”, amíg a menekülés megkezdése mellett döntöttek, 10,42 perc volt. A késlekedés okaként a válaszadók egy része először információt próbált gyűjteni, míg mások azt feltételezték, hogy a riasztás téves, és nem azonnal reagáltak, mivel már megszokták a rendszeres riasztásokat.

Az épületek tűzbiztonságának egyik alappillére a kiűrités tervezése, amelyet ma már a mérnöki módszerek közül olyan fejlett megoldások is segítenek, mint a menekülésszimulációs szoftverek. A kiűrités megfelelőségének igazolásához követelményként figyelembe veendő megengedett időtartam a haladási időre vonatkozik és számítását attól az időponttól kezdjük, hogy a személyek megkezdik mozgásukat a biztonságos tér felé. Az emberi reakcióidő hossza, a „késlekedés” ugyanakkor jelentősen megnövelheti a kimeneküléshez szükséges teljes időt (RSET).⁸ A kiűrités tervezése során a 'haladás előtti időtartam'-ként definiált⁹ időintervallumnak (1. ábra), amelybe a reakcióidő is beleértendő, jelentős befolyása van a menekülés sikerességére, vagyis arra, hogy a tartózkodási helyét adott személy az emberéltre káros körülmények kialakulásáig el tudja hagyni.

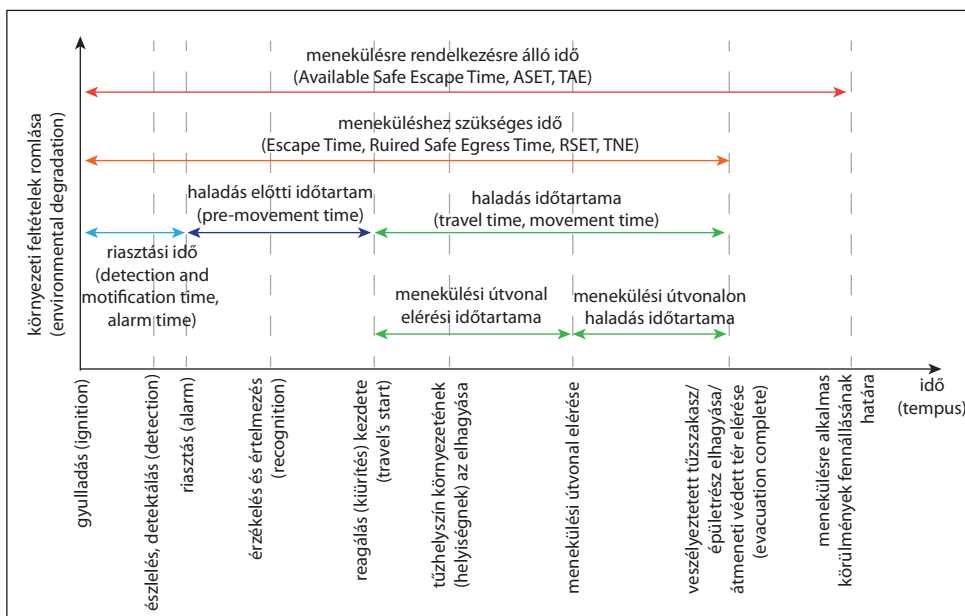
⁵ Eurostat 2019.

⁶ Proactive Training Scotland Ltd [@proactivetrainingscotland12490] 2017.

⁷ KULIGOWSKI–HOSKINS 2010.

⁸ RSET = *Required Safe Egress Time* (kiűritéshez szükséges idő).

⁹ TvMI 2.6:2024.02.01.



1. ábra: A menekülés folyamata

Forrás: TvMI 2.6:2024.02.01.

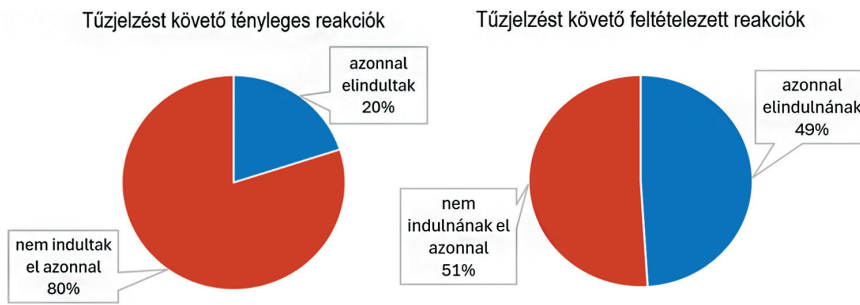
Jelenlegi kutatásunk arra próbál válaszokat találni, hogy milyen reakciókra lehet számítani, illetve mi befolyásolja a kiűrtendő emberek reagálását tűz esetén. Lehet-e például a reakcióidejüket azzal csökkenteni, ha több ismeretük, mélyebb tudásuk, nagyobb tudatosságok van az épületben működő tűzjelző berendezéshez és a tűzjelzéshez kapcsolódóan. A kérdőíves kutatás segítségével felmértük, hogy az irodai környezetben dolgozók mennyire vannak tisztában azzal, hogy az épületben tűzjelző rendszer működik, mit kell tenniük tűz esetén, mi lehet az első reakciójuk, és mennyiben befolyásolja azt például a tűzvédelmi oktatás minősége és mennyisége.

Az online kérdőíves kutatást 10, nagyvárosi környezetben található irodaház, összesen 152 dolgozójának körében végeztük el 2022 decembere és 2023 májusa között. Az irodaházak közötti méret- és létszámbeli különbségeket nem tartottuk az eredményeket jelentősen befolyásoló tényezőnek, ezért a kiértékelésnél ezek összevetésétől eltekintettünk.

A tűzvédelemmel kapcsolatos információk átadásának elsődleges formája a munkahelyi tűzvédelmi oktatás, ezért a kérdések jelentős része a tűzvédelmi oktatások rendszerességére, hosszára, formájára, módszerére és hatékonyságára vonatkozott. Ezen belül a kérdések kitértek arra is, hogy az oktatásokban mennyire jelennek meg hangsúlyosan az épületben működő tűzjelző berendezéssel kapcsolatos tudnivalók. A kérdések másik része azt hivatott feltérképezni, hogyan viselkedett, vagy hogyan viselkedne adott személy tűz esetén. Milyen korábbi tapasztalatai voltak, melyek befolyásolhatták vagy befolyásolhatnák reakcióját. Ilyen befolyásoló hatásnak gondoljuk például a korábban megtapasztalt téves jelzéseket, azok mennyiségét és kezelését.

Vélt és valós viselkedési minták tűzjelzést követően

Az irodai környezetben dolgozók tűzjelzésre adott feltételezett és valós reakciói közti eltérés felmérésére összehasonlítottuk két csoport válaszait. Az egyik csoport, akiknek már volt részük tűzjelzésben, még ha az téves jelzés volt is (a megkérdezettek kb. 40%-a), a másik csoport, akiknek még nem (a megkérdezettek kb. 60%-a). Az első csoport kérdése¹⁰ arra vonatkozott, hogy mi volt ténylegesen az első reakciójuk a tűzjelzést követően. A második csoporté szinte ugyanez, csak feltételes módban: „Mi lenne az első reakciója tűzjelzést követően?”. Arra voltunk kíváncsiak, hogy mennyiben tértek el a valós helyzetben megtörtént reakciók a magunk által feltételezettől. Vagyis mit gondolnak arról, mit tennének adott helyzetben és mik ezzel szemben a tények. Érdekes következtetést tudtunk levonni a válaszokból, amit a 2. ábra szemléltet.



2. ábra: A tényleges és a feltételezett reakciók közti eltérés

Forrás: a szerzők szerkesztése

Egyértelműen látszik, hogy elméletben jobban tudjuk, mi a helyes viselkedés. A válaszokból viszont látszik, hogy a valóságban egy olyan váratlan helyzetben, mint a tűzriadó, nehezebben fogadjuk el, hogy azonnal menekülnünk kell. Korábbi kutatásokból¹¹ tudjuk, hogy a menekülés megkezdésének elodázásában meghatározó szerepe van többek között a konformizmusnak mint pszichológiai jelenségnek is. Ha menekülni kell, egyenesen veszélyesnek mondható, ha a csordaszellem, a másokhoz való tartozás, a sorból való kilógás elkerülése érdekében nem cselekszünk azonnal és feltételek nélkül, ha a többiek sem teszik azt. A híres pszichológus, Philip Zimbardo – akinek neve összefont a híres stanfordi börtönkísérlettel – és Dominic Abrams kísérletet végeztek ennek bizonyítására.¹² Egy szálloda konferenciaszobájában kérdőívet kellett kitöltenie nyolc embernek a vásárlási szokásaikról, akik közül hét tudott a kísérletről, egy személy viszont nem. A kérdőív kitöltése közben a szoba ajtajának résein keresztül egy füstgép segítségével előállított füstöt szivárogtattak a helyiségbe, majd ezt követően megszólalt a tűzjelzés. A be nem avatott alany látva, hogy a többiek nem reagálnak, elbizonytalanodott,

¹⁰ 7.1.2. kérdés: „Mi volt az első reakciója tűzjelzést követően?”

¹¹ Proactive Training Scotland Ltd [@proactivetrainingscotlandl2490] 2017.

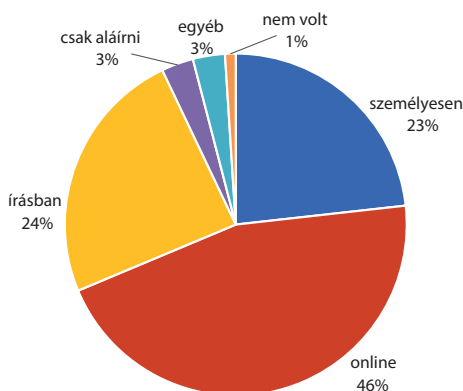
¹² Proactive Training Scotland Ltd [@proactivetrainingscotlandl2490] 2017.

és a tűzre utaló egyértelmű körülmények ellenére is meglehetősen hosszú időbe telt, míg a helyiség elhagyása mellett döntött. A tíz különböző alany bevonásával elvégzett kísérletsorozat eredményeként az átlagos idő, amíg hezitáltak, hogy meneküljenek-e vagy sem, 13 perc volt. Ez megdöbbentően hosszú idő, tekintettel arra, hogy a kiürítésszámítási normaidő-követelmény legkisebb értéke 1 perc, míg maximuma az összes növelő tényezőt figyelembe véve is maximum 13 perc.¹³

Ehhez kapcsolódóan érdekes következtetés vonható le egy másik kérdésre¹⁴ kapott válaszokból is. Senki nem válaszolta azt, hogy tűzjelzés esetén „folytatnám a munkám”, azonban a másik kérdésre¹⁵ adott válaszok alapján a valós tűzjelzést átélt emberek közül sajnos ketten is így tettek. Ez ismételten rámutat arra, hogy jelentős eltérés tapasztalható a vélt és valós viselkedési minták között.

A tűzvédelmi oktatás szerepe

Fontos információ a tűzvédelmi oktatások formája, amire az 1. kérdés¹⁶ alapján kaptunk választ (3. ábra).



3. ábra: A tűzvédelmi oktatások formájának megoszlása

Forrás: a szerzők szerkesztése

Láthatjuk, hogy a korábban evidenciának számító személyes oktatási forma mára nagy mértékben háttérbe szorult. Csupán a válaszadók 23%-a részesült személyes formában megtartott tűzvédelmi oktatásban. Ez még a megkérdezettek negyedét sem éri el annak ellenére, hogy a tűzvédelmi oktatásoknak helyspecifikusnak kellene lenni. Nem elég az általános tűzvédelmi szabályokat ismertetni, minden munkahelyen a helyi sajátosságokra kellene szabni (például tűzjelzés lehetősége, menekülési utak, vészkijáratok, liftek használhatósága, beléptető rendszer problémája tűz esetén, gyülekezőhely), így megkérdőjeleződik a nem személyes oktatások

¹³ 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet.

¹⁴ 7.2.1. kérdés: „Mi lenne az első reakciója tűzjelzés esetén?”

¹⁵ 7.1.2. kérdés: „Mi volt az első reakciója tűzjelzést követően?”

¹⁶ 1. kérdés: „Milyen formában történt munkahelyén az utolsó tűzvédelmi oktatás?”

tényleges hatékonysága. A pandémia óta elterjedt és sok téren bevált online oktatásoknak¹⁷ a jelek szerint ezen a téren is jelentős szerepük lett, hisz a válaszok 45%-ával magasan ez az oktatások leggyakrabban alkalmazott formája. Ehhez feltételezhetően hozzájárult a Covid-19-járvány alatt ugrásszerűen megnőtt online kapcsolattartások aránya.¹⁸

A magyar jogszabályi változások a tűzvédelmi oktatások terén még több könnyítést hoztak. A tűzvédelmi törvény¹⁹ módosításával már nem minden munkáltatónak kell évenkénti tűzvédelmi oktatást tartani, és megengedőbb az oktatások formáját illetően is: „A tűzvédelmi oktatás megvalósulhat személyes részvétellel vagy elektronikus úton”.²⁰

Számos kutatás rávilágított már a tűzvédelmi oktatások kiemelkedő szerepére.²¹ Úgy gondoljuk, hogy a munkavállalók tűzvédelmi oktatásában azon munkahelyeken, ahol beépített tűzjelző berendezés működik, szignifikánsan nagyobb részt kellene kapnia a tűzjelző rendszerekkel kapcsolatos ismereteknek. Kifejezetten fontosnak tartjuk a hangjelzés gyorsabb azonosításának képességét, amit lehetne javítani például azzal, ha az oktatási anyagban vagy az épület egyes pontjain egy QR-kódot helyeznek el, amelyet okostelefonnal beolvasva bármikor és bárki által meghallgatható, hogy szól abban az épületben pontosan a tűzjelzés (4. ábra).



4. ábra: Az épületben hallható tűzjelzés

Forrás: a szerzők szerkesztése

A téves jelzések hatása a reakcióidőre

A tűzeseti reagálásban természetesen meghatározó szerepe van a korábban átélt tűzjelzések körülményeinek és tényleges okának. Több olyan tűzeset is történt, ahol az érintettek a korábbi rossz tapasztalataikra alapozva a tűzjelzést téves jelzéseként értelmezték és emiatt késve, csak a tűz fizikai hatásait is észelve kezdték meg a menekülést. Ez történt többek között 2015 februárjában a Dubai Torch Tower felhőkarcoló esetében is, ahol a lakók utólag elmondták, hogy a korábbi, szinte napi szintű téves jelzések miatt sokáig nem vették komolyan a riasztást.²² Kérdőívünk segítségével megvizsgáltuk, visszaigazolják-e a mi vizsgálatunk is azt a feltételezést, hogy a téves jelzések általánosságban véve rontják a bizalmat a tűzjelző berendezésekkel szemben. Összehasonlítva a tűzjelzőkkel szembeni bizalomra utaló kérdés²³ válaszait azok

¹⁷ CIPD 2021.

¹⁸ McKinsey & Company 2021.

¹⁹ 1996. évi XXXI. törvény a tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról.

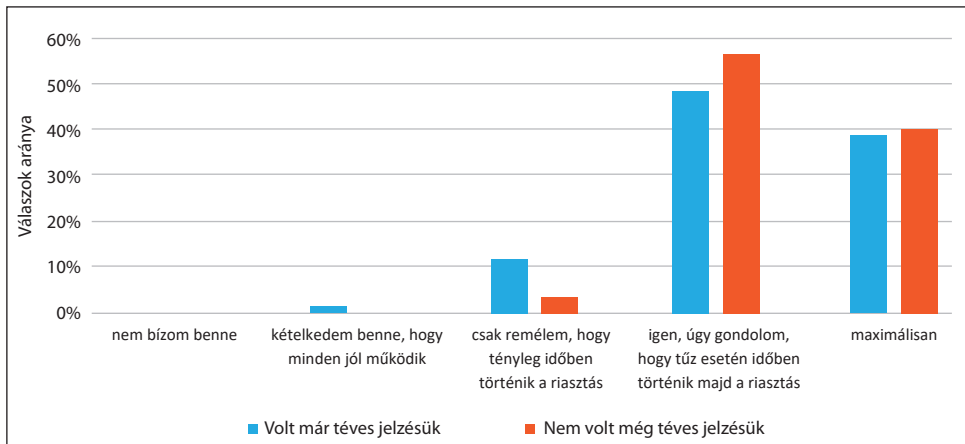
²⁰ 101/2023. (XII. 29.) BM rendelet.

²¹ KULIGOWSKI–HOSKINS 2010.

²² Gulf News 2018.

²³ 9. kérdés: „Bízik-e abban, hogy tűz esetén a tűzjelző rendszer jelezni fog és Ön időben el tudja hagyni az épületet?”

körében, akiknek már volt, és azok körében, akiknek még nem volt részük téves tűzjelzésben, megerősítette ezt a feltételezést (5. ábra).



5. ábra: A tűzjelzőkkel szembeni bizalom a téves jelzések tapasztalatával összefüggésben

Forrás: a szerzők szerkesztése

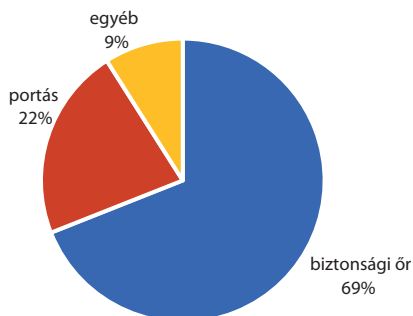
Összehasonlítva a válaszokat, szkeptikusabbnak mondhatjuk a tűzjelzéssel szemben azokat, akiknek volt tapasztalatuk téves jelzésben.

Kérdőíves kutatás a tűzjelző központ felügyeletét ellátók körében

Kutatásunk másik célcsoportja a tűzjelző központok felügyeletét ellátó személyzet (továbbiakban kezelők vagy kezelő személyzet), akiknek meghatározó szerepe van a tűzjelző berendezések által indított kiürítések során.

Második kérdőíves kutatásunk célja, hogy felmérjük a tűzjelző központok felügyeletét ellátók felkészültségét, oktatásuk gyakoriságát és hatékonyságát, tűzjelzőközpont-kezelési jártasságukat, a tűzjelzést követő teendők ismeretét és tájékozottságukat többek között a téves jelzésekkel kapcsolatban. A kérdőívet 18 magyarországi, többnyire közintézményként működő objektum 314 munkavállalójának körében készítettük el 2023. év folyamán.

Az első kérdések elsősorban a résztvevők munkakörére, a foglalkoztatásának formájára, végzettségére, az adott munkakörben eltöltött idejére vonatkozott. A válaszok alapján elmondhatjuk, hogy a tűzjelző központok felügyeletét döntő többségében (69%) biztonsági őrök, kisebb arányban (22%) portások látják el. A maradék 9% között recepciósook, személy-és vagyonőrök, vagyonőrök, valamint fegyveres biztonsági őrök vannak (6. ábra).



6. ábra: A tűzjelző központ felügyeletét ellátók munkakörének megoszlása a 7. kérdésre („Milyen munkakörben dolgozik?”) adott válaszok alapján

Forrás: a szerzők szerkesztése

A válaszadók 40%-a rendelkezik érettségivel, 45%-a szakmunkás bizonyítvánnyal, 4%-a csupán nyolc általánossal és meglepő módon 8%-nak főiskolai vagy egyetemi végzettsége is van. 3% egyéb végzettséget jelölt meg, míg 2% nem válaszolt erre a kérdésre. Nem meglepő módon a tűzjelző központ felügyeletét végzők szinte teljes egészében külsős cég munkavállalói, jelen esetben 98% „biztonsági őrző-védő cég alkalmazottja”. A megkérdezettek legtöbbször (44%) 1–5 éve dolgozik ezen a helyen és munkakörben, és csupán 14%, aki 10 évnél régebben.

Az oktatások gyakorlata a tűzjelző központot kezelők esetében

Magyarországon az előírások nem támasztanak speciális követelményeket ezen személyek képzését illetően. Munkakörükhöz kapcsolódó tűzvédelmi feladataik ellátásához az ismereteket az éves tűzvédelmi oktatásokon kapják meg, illetve a tűzjelző központ (TJK) kezelését a tűzjelző berendezés kivitelezője, később karbantartója ismerteti a használatbavételt megelőzően, majd később szükség szerint, a karbantartásokhoz kapcsolódóan (7. ábra).

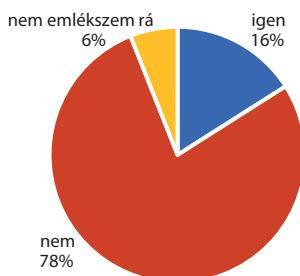


7. ábra: Tűzjelző központok felügyeletét ellátók oktatásának jelenlegi gyakorlata

Forrás: a szerzők szerkesztése

Tapasztalataink szerint a tűzjelző központ felügyeletét ellátók egyik oktatása sem fókuszál célirányosan és kellő mélységben a tűzjelzést követő teendőkre. A munkavállalói tűzvédelmi oktatás gyakran írásban történik, amire a jogszabály ma már lehetőséget ad.²⁴ Amennyiben a tűzvédelmi oktatás személyesen van megtartva, az legtöbbször a többi munkavállalóval összevontan történik, így a speciális feladatokhoz tartozó ismeretek átadása ezen a fórumon gyakran elmarad vagy felületes. Az OTSZ²⁵ úgy fogalmaz, hogy a felügyeletet, kezelést ellátó személyt a tevékenység végzéséhez szükséges ismeretekről a tűzjelző berendezés üzembe helyezésekor és a berendezésen eszközölt, az üzemeltetést érintő változtatás alkalmával ki kell oktatni.²⁶ De a tűzjelző berendezés kivitelezője, karbantartója, aki ezt az oktatást tartja, nem kompetens abban a kérdésben, hogy milyen intézkedéseket és milyen sorrendben hajtson végre a felügyeletet ellátó személy tűz esetén. Ez az oktatás általában csak magának a tűzjelző központnak a kezelésére terjed ki. Ez a gyakorlat véleményünk szerint azt eredményezi, hogy „papíron” ugyan oktatták ezeket a személyeket, de egy éles tűzjelzést követően a reagálásuk bizonytalan.

A kezelők oktatásához kapcsolódóan érdekes eredményt kaptunk a legegyszerűbb kérdésre, ami így szólt: „Kapott-e oktatást a tűzjelző rendszerrel kapcsolatban?” (7. kérdés) A megkérdezettek 16%-a saját bevallása szerint nem kapott oktatást, és további 6%-uk nem emlékszik rá (8. ábra).



8. ábra: „Kapott-e oktatást a tűzjelző rendszerrel kapcsolatban?” (a 7. kérdésre adott válaszok megoszlása)
 Forrás: a szerzők szerkesztése

A válaszok alapján a megkérdezettek közel negyede (22%-a) nem tekinthető oktatottnak, és még nem érintettük az oktatások módjának, színvonalának, hatékonyságának a kérdését.

Ahol volt oktatás, ott annak hosszát²⁷ az általunk vártnál többen jelölték meg 30–60 perc között (42%), illetve 20–30 perc között (23%). Felvetődik a kérdés, hogy csak a tűzjelző központtal kapcsolatos oktatásra gondoltak, ahogy a kérdés szólt, vagy általában a tűzvédelmi

²⁴ 101/2023. (XII. 29.) BM rendelet.

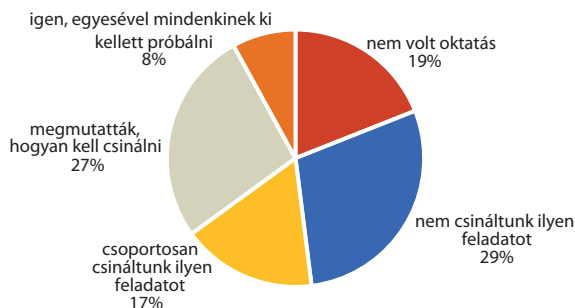
²⁵ 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet.

²⁶ 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet.

²⁷ 10. kérdés: „Meddig tartottak általában ezek az oktatások?”

oktatásokra. Az oktatásokat döntő többségben a tűzjelző rendszer karbantartója (66%), illetve a tűzvédelmis (22%) tartotta, de erre a kérdésre²⁸ több mint 15% nem is válaszolt.

A megkérdezettek közel felének (46%) kellett már valós helyzetben tűzjelzést lekezelnie az általa felügyelt tűzjelző központon. A kezelők oktatásának kulcsszerepe van abban, hogy a központon megjelenő tűzjelzést határozottan és hatékonyan tudják lekezelni egy éles helyzetben. A TvMI 12²⁹ javaslatként azt mondja, hogy „[a] kezelés oktatását célszerű gyakorlati próbával egybekötni.” Ezzel összefüggő 13. kérdésünk arra irányult, hogy kapott-e a megkérdezett az oktatáson olyan feladatot, amelynek során egy valódi tűzjelzést kellett önállóan, egyedül lekezelnie. A válaszok alapján 29% nem csinált ilyet, 19% pedig úgy nyilatkozott, hogy nem is részesült oktatásban (9. ábra).



9. ábra: „Volt-e az oktatáson olyan feladat, melynek során egy valódi tűzjelzést kellett önállóan, egyedül lekezelnie?”, a 13. kérdésre adott válaszok megoszlása

Forrás: a szerzők szerkesztése

Mindössze a kezelők 8%-a tudta az oktatás során kipróbálni, hogyan tud önállóan egy tűzjelzést lekezelni. Ez a válaszarány egyértelműen felhívja a figyelmet arra a sajnálatos tényre, hogy ami nem kötelező, csak ajánlott, azt nagy valószínűséggel nem is tartják be.

A TvMI 12³⁰ alapján az „üzemeltető felelőssége, hogy a kezelést ellátó személy(ek) a berendezés készségszintű kezelésének birtokában legyen(ek), illetve az új kezelő személyek oktatása megtörténjen.” Kiemeljük, hogy az előírás csak a berendezés kezelésének ismeretét követeli meg. Azt, hogy milyen intézkedéseket kell tenni a tűzjelzést követően, sajnos nem említi. A válaszok alapján a kezelők közel fele biztos (48%), hogy készség szinten nem tudja, mit és hogyan csinálna egy éles szituációban. Egy éles szituációban várható pánik hatására fokozódó stressz bizonyítottan negatív hatással van a döntéshozó képességre,³¹ így tovább ronthatja az amúgy sem biztos lábakon álló tudásra alapozó reakcióképességet. A gyakorlat-orientált, a várható szituációk személyes begyakorlását nélkülöző oktatásokat határozottan gyenge pontnak tekinthetjük a beépített tűzjelző berendezések üzemeltetésével kapcsolatban.

²⁸ 11. kérdés: „Ki tartja általában az oktatást a tűzjelző rendszerről?”

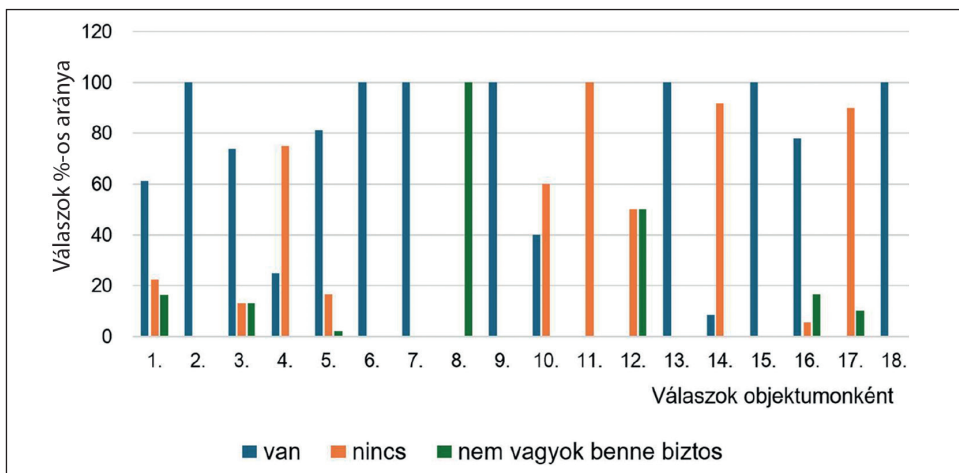
²⁹ TvMI 12.5:2022.06.13.

³⁰ TvMI 12.5:2022.06.13.

³¹ STARCKE–BRAND 2012.

A kezelő személyzet felkészültsége

A kezelők ismereteit vizsgáló kérdések közül kiemeljük a tűz- és hibaátjelzésre vonatkozó 18. kérdést, amely egyszerűen arra vonatkozott, hogy van-e a rendszerről tűz- és hibaátjelzés a tűzoltóságra. Hiába van kiemelt jelentősége annak, hogy egy objektum tűzjelző rendszere közvetlenül átküldi-e a tűzjelzést, a kezelők válaszai meglehetősen ellentmondásosak voltak (10. ábra).



10. ábra: Válaszok megoszlása a 18. kérdésre: „Van tűz- és hibaátjelzés a tűzoltóságra?”

Forrás: a szerzők szerkesztése

A 18 objektumból csupán 7 esetben voltak a válaszok egyöntetűek arra vonatkozóan, hogy van-e egyáltalán átjelzés. Egy objektum esetében egyik megkérdezett sem volt biztos abban, hogy van-e átjelzés. A többi, összesen 10 objektum esetében pedig meglepően eltérő válaszok születtek. A válaszok ilyen mértékű eltérése arra utal, hogy a kezelők tudása meglehetősen bizonytalan, ha még egy ilyen egyszerű, de fontos kérdésre sem egyöntetű a válasz az objektumok több mint felében. Az előzőhöz nagyon hasonló kérdés volt a számítógépes grafikus megjelenítő meglétére vonatkozó kérdés.³² Ebben az esetben is csak 8 objektum esetében voltak a válaszok egyöntetűek. Körülbelül 45%-ban a kezelők eltérő válaszokat adtak, ami szintén megkérdőjelezi a kezelő személyzet tudását.

A tűzjelző központ kezelésével összefüggő fontos feladat az érzékelők vagy jelzési zónák kikapcsolása. Erre akkor van szükség, ha előre tervezetten porral, esetleg füsttel járó munkát végeznek a védett területen. A válaszadók 19%-a³³ felvállalta, hogy nem tudja, hogyan kell a kikapcsolást és visszakapcsolást elvégezni, és további 10% nem biztos benne, hogy jól csinálná.

³² 27. kérdés: „Van-e (számítógépes) grafikus megjelenítő a tűzjelző központ mellett?”

³³ 21. kérdés: „Tudja-e, hogyan kell kikapcsolni egy érzékelőt vagy jelzési zónát?”

Téves jelzések kezelése

A téves jelzések problémája nemcsak hazánkat, de a legtöbb olyan fejlett országot is komolyan érinti,³⁴ ahol nagy számban alkalmaznak beépített tűzjelző berendezéseket. Magyarországon 2015-től a tűz- és hibaátjelzések hatósághoz történő közvetlen és automatikus bekötésével a regisztrált téves jelzések száma egyik évről a másikra ugrásszerűen, 67%-kal³⁵ megnőtt (1. táblázat).

1. táblázat: Tűzjelző berendezések téves jelzései átalakítva

Év	Tűzjelző berendezések száma	Tűzjelző berendezések téves jelzései	Téves jelzések aránya a tűzjelző berendezésekhez képes
2014	14 057	4450	32%
2015	14 562	4768	33%
2016	14 965	12 235	82%
2017	15 550	13 775	89%
2018	16 015	17 696	110%

Forrás: DARUK–VÉNOSZ 2019b

A téves jelzések száma azóta is nagyon magas, ráadásul a statisztikákban csak azok a téves jelzések jelennek meg, ahol a tűzjelző berendezéshez tűz- és hibaátjelző berendezést is telepítettek. A kiugró statisztikai adatok felhívták a hatóság figyelmét is arra a látens problémára, hogy a tűzjelző rendszerekben mennyire gyakoriak a téves jelzések.

Kérdőívünkben a téves jelzésekkel összefüggésben is tettünk fel kérdéseket, mert a téves jelzések nemcsak a riasztandó személyek reagálását befolyásolják negatívan, de a tűzjelző központot felügyelő személyek hozzáállására is hatással lehetnek. A nemzetközi és hazai tapasztalatoknak megfelelően a téves jelzések gyakoriságát igazolta vissza a mi kutatásunk is. A megkérdezettek 67%-a³⁶ tapasztalt téves jelzést, de ezen válaszadók 30%-a³⁷ utólag sem tudta meg, hogy mi okozta azt. Véleményünk szerint a téves jelzések alapos kivizsgálása, az azt követő tanulságok levonása és a további téves jelzések megelőzésére tett intézkedések mellett fontos, hogy az érintettek is megismerjék ezen jelenségek okát és körülményeit.

Önértékelés

A kérdőív végén lehetőséget adtunk arra, hogy a tűzjelző központok felügyeletét ellátók értékeljék saját ismereteiket egy 1-től 5-ig terjedő skálán, ahol az „1” a legkevesebb tudást, míg az „5” a legtöbb tudást jelenti. A kérdések az alábbi területekre terjedtek ki:

- tűzjelző központ kijelzéseinek (hangjelzések, LED-ek, LCD kijelző) jelentése;
- nyomógombok funkciója;
- a tűzjelzés helyének beazonosítása a tűzjelző központ kijelzése alapján;

³⁴ CTIF 2018.

³⁵ DARUK–VÉNOSZ 2019a.

³⁶ 19. kérdés: „Volt-e már téves tűzjelzés, mióta ennek a tűzjelző központnak a felügyeletét ellátja?”

³⁷ 20. kérdés: „Mi volt a téves jelzés oka?”

- helyismeret a védett létesítményben;
- pontos tűzeseti intézkedési rend;
- a rendszer kiépítettsége, alkalmazott eszközök ismerete;
- érzékelő vagy zóna ki- és visszakapcsolásának módja;
- hangjelzők ki- és visszakapcsolása (kiürítés); illetve
- vezérlések ki- és visszakapcsolása.

A saját ismereteik önértékelésének összesített átlaga 3,8 lett, de volt olyan objektum is, amelynek kezelői (összesen 73 fő) a tudásukat összesítve is csak 2,2-re tartották. Az alacsonynak tekinthető önértékelési pontszám azt jelzi, hogy a kezelő személyzet számos területen nem érzi magát kompetensnek. A megkérdezettek összesítve legrosszabbra értékelték ismereteiket a hangjelzők ki- és visszakapcsolásának kérdésében, legjobbnak pedig a helyismeretüket a létesítményben.

A tűzjelző központok kezelésének nehézségét³⁸ a legtöbben (42%) „bonyolult, de megtanulható”-nak tartják, mégis csak 11% gondolja úgy, hogy évi többszöri oktatás lenne szükséges a kezelés elsajátításához.

Összegzés

Az emberi viselkedés általánosságban véve összetett és bonyolult, sok szubjektivitást tartalmaz. Tűzesetek során, pánikhelyzetben és stressz alatt a megfelelő reagálás nagymértékben befolyásolja a menekülési esélyeket. A kutatásunkban vizsgált embercsoportok helyzete, feladata és a szükséges reagálása eltérő ugyan, de a megfelelő lépések megtétele mindegyikük esetében elengedhetetlen ahhoz, hogy a tűzjelző berendezések által indított riasztás elérje a célját. A megfelelő reagálás képessége tanulható, fejleszthető, gyakorolható, aminek alapját az ezzel kapcsolatos ismeretek, tudás és a tudatosság jelenti.

Mindkét kérdőíves kutatás eredménye egyértelműen rámutat a képzési protokollok és a gyakorlati felkészültség hiányosságaira és azokra a gyenge pontokra, amikre érdemes a jövőben nagyobb figyelmet fordítani.

Felhasznált irodalom

- 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról
101/2023. (XII. 29.) BM rendelet a tűzvédelmi szabályzatról, a tűzvédelmi házirendről, valamint a tűzvédelmi oktatásról
1996. évi XXXI. törvény a tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról
Biztonsági piac (2020): Önszabályozásra lenne szükség a vagyonvédelmi piacon. *Biztonsági piac.hu*, 2020. január 15. Online: <https://biztonsagi piac.hu/onszabalyozasra- lenne- szukse g- a- vagy on- vedel mi- piacon/>

³⁸ 30. kérdés: „Általában mennyire tartja nehéznek, bonyolultnak a tűzjelző központok kezelését?”

- CIPD (2021): *Digital Learning in a Post-covid-19 Economy: A Literature Review. Report, January 2021*. London: Chartered Institute of Personnel and Development. Online: https://www.cipd.org/globalassets/media/knowledge-hub/reports/digital-learning-literature-review-report-2_tcm18-89290.pdf
- CTIF (2018): *World Fire Statistics, Report No. 23*. International Association of Fire and Rescue Services. Online: https://ctif.org/sites/default/files/2021-01/CTIF_Report23_ENG-HUN-GER%20%281%29.pdf
- DARUK Anita – VÉNOSZ Miklós (2019a): Beépített oltóberendezésekből származó téves tűzjelzések – öt év adatainak elemzése. *Védelem Katasztrófavédelmi Szemle*, 26(5), 18–21.
- DARUK Anita – VÉNOSZ Miklós (2019b): Téves jelzések – öt év adatainak elemzése. *Védelem Katasztrófavédelmi Szemle*, 26(5), 15–17.
- Eurostat (2019): *Sit at Work? You Are One of 39%*. Online: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/DDN-20190305-1>
- Gulf News (2018): Massive Fire Erupts at Torch Tower in Dubai Marina. *Gulfnews.com*, 2018. október 10. Online: <https://gulfnews.com/uae/massive-fire-erupts-at-torch-tower-in-dubai-marina-1.1460107>
- KULIGOWSKI, Erica D. – HOSKINS, Bryan L. (2010): *Occupant Behavior in a High-rise Office Building Fire* (NIST Technical Note 1664). Fire Research Division, Building and Fire Research Laboratory. USA: National Institute of Standards and Technology. Online: https://www.nist.gov/system/files/documents/el/fire_research/TN1664.pdf
- McKinsey & Company (2021): *Building Workforce Skills at Scale to Thrive During – and After – the COVID-19 Crisis*. Online: <https://www.mckinsey.com/capabilities/people-and-organizational-performance/our-insights/building-workforce-skills-at-scale-to-thrive-during-and-after-the-covid-19-crisis#/>
- Proactive Training Scotland Ltd [@proactivetrainingscotlandl2490] (2017): Dangerous Conformity. *YouTube*, 2017. szeptember 1. Online: <https://www.youtube.com/watch?v=ZUaunvv39s>
- STARCKE, Katrin – BRAND, Matthias (2012): Decision Making Under Stress: A Selective Review. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 36(4), 1228–1248. Online: <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.02.003>
- TvMI 12.5:2022.06.13. *Tűzvédelmi Műszaki Irányelv: Ellenőrzés, felülvizsgálat és karbantartás*. Budapest: BM OKF.
- TvMI 2.6:2024.02.01. *Tűzvédelmi Műszaki Irányelv: Kiűrtés*. Budapest: BM OKF.

Bence Tóth¹ 

The Effect of Railway Electrification on the Passability of Hungary

The railway network of Hungary is very dense also in international comparison: as the total length of the network is 7,395 km, the aerial density is 8.00 km/100 km², which is the sixth densest in the world. However, in other parameters it is far behind other countries as, for example, the railway electrification of Switzerland is 100% while of Hungary it is only 42.6%. In this study I investigated how the maximal possible value of freight traffic increases if not only the electrified but also the unelectrified lines are taken into account. This parameter is not only a good tool to quantify which railway lines should be electrified, but also to show how important the diesel engines for the country are.

Keywords: railway network, graph theory, flow, capacity, Hungarian Defence Forces

Introduction

If one wants to get an overall picture of a railway network, there are several measures that can be calculated. One of these is density, which is the ratio of the length of the lines in a certain region divided by the area of the same region. In the case of Hungary, the total length of the railway network is 7,395 km² while the area of the country is 93,030 km² which gives a railway density of 8.00 km/100 km² which is the sixth densest in the world.³ Another measure is the ratio of double-tracked lines, which is only 16.6% for Hungary. This particular example already shows that one good property of a network is not enough to state that it can be operated at high performance.⁴

To be able to utilise the highest possible traffic on a transportation infrastructure network all segments have to operate at full capacity. If some do not, it is called a disruption. For example, in the case of the railway network, the overhead wires can be disrupted by falling

¹ Associate Professor, PhD habil, Ludovika University of Public Service, Faculty of Military Sciences and Officer Training, Department of Natural Science, e-mail: toth.bence@uni-nke.hu

² KSH 2023.

³ UNECE s. a.

⁴ SzÁsZI 2007.

trees in a storm, or the movement of switches can be hindered by icing in winter. However, these are disruptions of already existing infrastructure elements, but there are some cases when the maximum possible capacities cannot be utilised due to the users of the network. This can happen if the locomotive using the tracks is only capable of lower speeds than the speed limit of the line or when the axle load of the cars is lower than the permitted value of the line and thus only a smaller amount of goods can be transported.

It is also the latter case when only electric engines are available and thus lines with no electrification cannot be used to transport goods or utilised as a detour in the case of a disruption. In fact, the electrification ratio of the railway network of Hungary is also quite low, especially compared to Switzerland where this value is 100% as for Hungary only 42.6% of the railway lines are electrified.⁵ As every double-tracked line section is electrified, one can calculate that only 25.3% of the single-tracked lines is electrified.

The international border crossings are not only important because of freight traffic, but also for military operations.⁶ The electrification of these connections makes it possible not to change locomotives when crossing from one country to another.

The role of railway electrification

Railway electrification is a two-edged sword. Under normal operational conditions (peacetime) electrified lines are better in almost every aspect than the ones without electrification: higher line speeds are possible, stronger locomotives can be used. These result in a larger amount of transported goods, cheaper traction, and are more environmentally friendly than transportation using diesel engines. However, this adds other critical elements in the network: the overhead wires and the voltage supply stations. Both of them can be disrupted separately, which adds vulnerability in the network. Overhead wires are exposed to weather, which means that storms, ice and also failures of the pantograph can damage them which are all unintentional failures and are unavoidable to some extent. But being present on the whole railway line without guarding they can also be a subject of intentional attacks as they can be damaged by terrorists making the trains in that line section to stop. The electric supply can also be the subject of intentional disruption, which makes several lines connected to a power station to shut down. The map of the electric substations of the Hungarian Railways (MÁV) with the supplied line sections is plotted in Figure 1.

⁵ Eurostat 2022.

⁶ Szász 2014.



Figure 1: The electrical substations of the Hungarian Railways (MÁV)

Note: The lines supplied by a single substation are coloured accordingly.

Source: <https://www.eszk.org/attachments/l279/ea/palmai.pdf>

However, there is no need for such unexpected events, planned reconstruction or development of existing electrified railway lines can result in cases when the use of unelectrified lines is needed. For example, when line No. 40a (Budapest–Pusztaszabolcs) was reconstructed between 2018 and 2022 to make it available for higher speeds (including the new line 40b between Százhalombatta station and the newly added Ercsi junction which can be practically regarded as a path correction), the electric engines serving the Dunaferri steelworks could not use this line as usual. As a substitute, line No. 5 (Székesfehérvár–Komárom) had to be used, which is not electrified and thus an increased amount of diesel engines was needed (either own or rented) by the forwarder companies.

Similarly, when Pusztaszabolcs station was reconstructed in 2019, every InterCity train between Budapest and Pécs had to take a detour via Dunaújváros. However, the line section between Dunaújváros and Rétság, which was part of the detour, was not electrified. This made the use of diesel locomotives as bank engines (i.e. locomotives attached to the front and/or the rear end of the train to help it climb a gradient) necessary, as using buses to replace the trains on this section would have been unrealistically expensive, compared on the usable railway infrastructure in good condition, and changing between buses and trains is also uncomfortable for the passengers.

Another bottleneck can be the engine fleet. Operating electric locomotives is cheaper and more effective. In addition, as more and more of the network is being electrified, the need for diesel engines is decreasing. This makes the existing fleet become old, which in turn results in more frequent failures of the engines, as there is no economic need to buy and operate new engines, but this can lead to the lack of enough diesel engines in the previously mentioned cases.⁷

Research goals

As a consequence of the effect of electrification on the railway network, a thorough examination is necessary. In this research, I calculated the maximum traffic that can be carried on the railway network of Hungary between each pair of border crossings, if only the electrified lines are taken into account, and also if all railway lines can carry traffic. Then, the traffic flow on every line section is summed which shows the difference between the two cases: which railway lines are vital for both cases, which are important when only electric engines are used and which are better to be bypassed when diesel engines are available for traffic.

In the following, I will shortly discuss the graph model of the railway network of Hungary that was used for the modelling, the software environment and the calculation methods.⁸

The main-signal-level graph model of the railway network of Hungary

The railway network of Hungary is represented by a weighted directed graph.⁹ The nodes of the graph are the main signals of the network. The main signals are the home signals and exit signals of stations and the block signals of the line sections between the stations (for the lines that are designed for block signalling, naturally). To see how traffic between these signals work, the basic design of stations, line sections and junctions has to be discussed.

Stations

In the railway network of Hungary, a station is defined by the Traffic Instruction (F.2. sz. Forgalmi utasítás) of the Hungarian National Railways (Magyar Államvasutak Zrt., MÁV) as two home signals at its two endpoints¹⁰ (see Figure 2). The destination of a train is usually a station, therefore, it must pass the home signals and reach the exit signal on the other end. Therefore, the routes are always defined as a travel between the exit signals of the departure and the destination station. The path length and the travel time are thus calculated as the sum of the weights of the graph edges on the shortest path between the nodes representing that two specific exit signals.

⁷ ARDAI-TÓTH 2023.

⁸ TÓTH 2022.

⁹ TÓTH 2021: 567–587.

¹⁰ MÁV – Pályavasúti Főigazgatóság 2008b: 1.2.4.

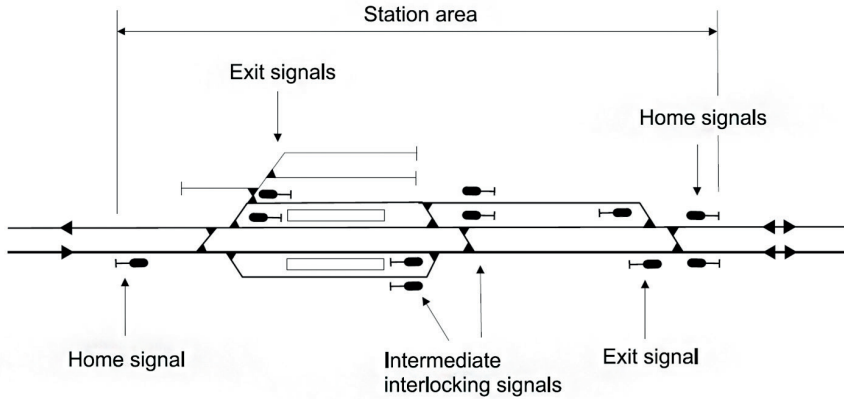


Figure 2: Schematic diagram of the signals of a railway station
 Source: PACHL 2020

Block sections

As a rule of thumb, there can only be one train between two main signals. If two neighbouring stations are too far from each other to both satisfy this rule and to pass through the traffic, the open line between these stations can be divided into block sections. As the block signals at the beginning of each block section are counted as main signals, this way the capacity of a line section can significantly be increased. The first block section extends from the exit signal of the departing station (making that specific exit signal technically a block signal, too) up to the first block signal of the line section. The last block section extends from the last block signal of the line section till the home signal of the next station. The principles behind block signalling are summarised in the schematic picture of Figure 3.

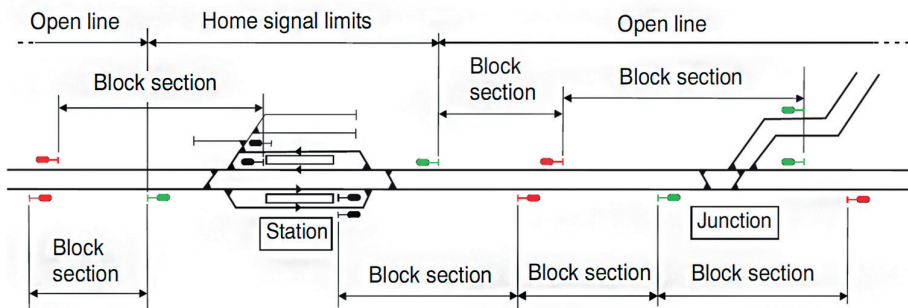


Figure 3: Schematic diagram of block sections
 Note: The signals marked with green are home signals, marked with black are exit signals, marked with red are block signals. Note that the block section with a junction is protected by the home signals of the junction.
 Source: LUSBY et al. 2011

Junctions

When a railway line connects to another line at a station, home signals are used on both lines which mark the beginning of the station. However, if they do not meet at a station, a junction with appropriate signalling has to be built. The switches that provide the connection have to be guarded by signals from each direction. This is carried out technically by home signals. On each railway line, the last main signal before the junction is not a block signal but a home signal which is not followed by an exit signal but (on lines with block signalling) with a block signal or the home signal of the next station. This is because block signals can be passed (with some restrictions¹¹) when the signal shows a red light but home signals must not. This ensures the safety of the trains arriving to the junction from the same direction.

Border crossings

Border crossings are not marked with any kind of signal in the real network. However, to be able to run trains up to these points without knowing where the next main signal in the railway network of the bordering country is, virtual main signals were put into the graph at the exact locations of the border crossings. Two nodes were assigned to each border crossing point: a home signal in the direction of leaving Hungary and an exit signal in the direction of entering Hungary.

Signals and tracks

The nodes of the graph were thus the main signals of the railway network of Hungary and the virtual main signals of the border crossings. Their position data from the starting point of the railway line is freely accessible with meter precision on the website of the web page of the Hungarian Rail Capacity Allocation Office (Vasúti Pályakapacitás-elosztó Kft., VPE Kft.).¹² Even if there are no signals at the country border, the positions where each railway line crosses the international border is contained in the VPE database similar to main signals, i.e. not their geographical position but their distance from the starting point of the corresponding railway line. It is important to note that these position data are not GPS coordinates. As the railway lines are not running straight between the signals, connecting only the geographical point of the signals would cause the lines appear more or less shorter than they actually are. Therefore, the distance used is not Euclidean distance between points but the actual running length of the trains.

The edges connecting the nodes of the graph thus represented the tracks between the signals with parameters assigned to them as weights. For the results presented here, these parameters were the length, the travel time and the capacity of the corresponding line section.

¹¹ MÁV – Pályavasúti Főigazgatóság 2008b: 15.19.2.2.

¹² VPE vasúthálózati térkép.

The travel time was calculated as the ratio of the length of the line section and the line speed of it, the latter also available at the VPE Kft. web page. Therefore, this time value is a lower limit of the real travel time due to the acceleration and deceleration time, temporal speed restrictions, etc.

The graph was designed to be able to model military applications easily. In these cases, trains with locomotives are used. As the line speed differs for locomotives and for electric multiple units (EMUs), the former being lower for some railway lines, this lower line speed was taken into account for the calculations.

The graph contains 5,198 nodes, from which 1,689 represented home signals, 1,491 exit signals, 1,904 block signals and 114 represented other line connections, like border crossings or sidings. The connections between the signals were modelled by 6,803 edges in the graph.

Some lines with 0 km/h line speed were also included in the model (e.g. line No. 49 Lep-sény–Csajág–Papkeszi) and even lines completely demolished (e.g. line No. 1CM, the so-called “Greater Burma” track) to ease the future application of the model in development planning. Some of these future expansions can be the Budapest-Kelenföld – Budapest-Nyugati railway tunnel or the connection of line No. 150 to the Southern Railway Bridge both outlined by the Budapest Agglomeration Railway Strategy (Budapesti Agglomerációs Vasúti Stratégia, BAVS).¹³

Reversing

Train reversal was made possible in the model only at those 710 stations at which it can also be done in the real network. It was made possible in the model by connecting the two exit signals of the same station with edges and assigned 0 km and 10 minutes weights to them. The latter is due to the time needed from stopping to departing in the other direction, during which the locomotive has to be disconnected, reconnected to the other end and the brake test has to be done. This is also a lower limit for this time interval.

The virtual home signals and exit signals of the border crossings were not connected as we do not want to enable reversals at these points not only because reversal at the border point is not possible as these signals are not present in the real network but also because the railway network of the neighbouring country should also not be used for reversal, reversal has to be done at the nearest Hungarian station if necessary.

The main purpose for using a directed graph was for the algorithm calculating the shortest path to add these extra 10 minutes to the total travel time. This also made possible to handle the traffic in opposite directions (even if the line was single tracked) separately. The other reason for using a directed graph was the difference in the distances between the exit and the home signals on the same end of a station from the nearest block signal. The notation of the signals is based on the starting point and the endpoint of the corresponding railway line, i.e. if a line starts from Budapest (the national capital), the terminus at Budapest is the starting point of the line. If neither end reaches Budapest, the regional railway directorate defines which end is the starting point. Thus, every railway station has a starting point and an

¹³ LÉVAI 2022.

endpoint. Corresponding to this notation, every station has a starting point and an endpoint, too. The starting point of the station is the end closer to the starting point of the railway line it lies on and the endpoint of the station is the end closer to the endpoint of the railway line.

The structure of the graph is presented in Figure 4 on the example of Győr station and its vicinity and the map of the whole network is plotted in Figure 5.

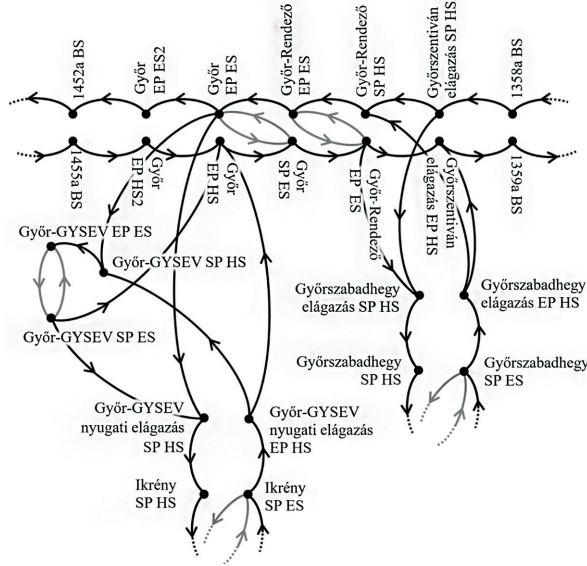


Figure 4: Diagram of the graph representing Győr station and its neighbouring stations

Note: Home signals are denoted by HS, exit signals by ES, block signals by BS. The starting point of a station is denoted by SP and the endpoint by EP.

Source: LÉVAI 2022

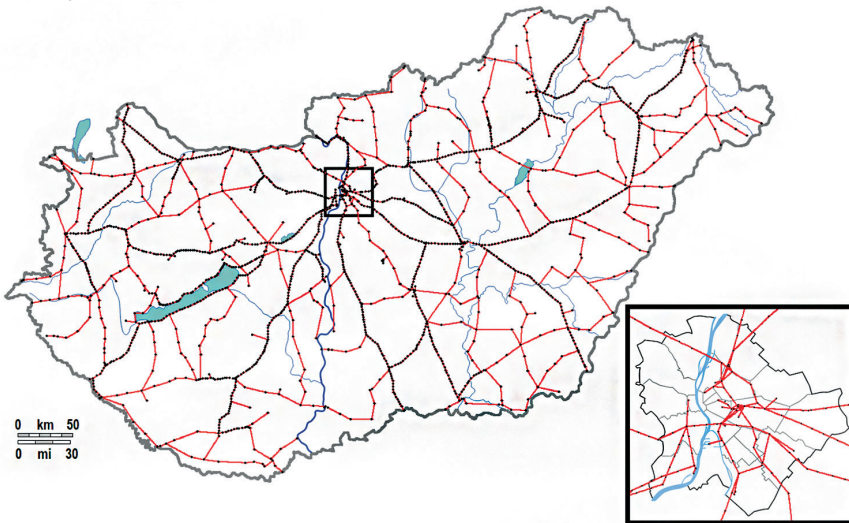


Figure 5: The graph plotted onto the map of Hungary

Source: LÉVAI 2022

Calculation methods and measures

In the following, I will briefly summarise the software environment used for the modelling.

Software

Calculations were done in the *R* programming language and environment¹⁴ by using the *igraph* package¹⁵ developed by Gabor Csardi and Tamas Nepusz. The distance between two stations (which is the distance of the appropriate exit signals) in length or time can be calculated by the function `distances`. In case of graphs with only non-negative weights (and a railway network does not have negative lengths or travel times), the function uses Dijkstra's algorithm¹⁶ to calculate the length or travel time of the shortest path,¹⁷ depending on the weights being used.

But as the distance between two nodes represents the distance between the exit signals and not the distance between the stations (whatever would that mean), the length of four shortest paths has to be calculated: between the exit signal at the starting point and the exit signal at the endpoint for both stations and the smallest value has to be chosen. While for path lengths, all four values are close to each other as the distance between the opposite exit signals are only a few hundred meters, for travel times, two have to be longer by 10 minutes and one by 20 minutes than the optimal. In these cases the origin and/or the destination node was chosen incorrectly and the path started and/or ended with an unnecessary reversal. After the correct origin and destination node is determined, the exact route of the path could be calculated with the function `shortest_paths()` and the edges passed through can be obtained using the `$epath` value of the result.

Capacity

Let us assume that the distance between the block signals is more than the average braking distance. The principles of block signalling are demonstrated in Figure 6. The following train (on the left) can only travel with the line speed v_{\max} constantly if it arrives at the visual distance (ℓ_o) of the block signal (3) when it turns green. This means that the next block signal (2) turns from red to yellow at the same time which, in turn, means that the preceding train (on the right) has just left the block section guarded by block signal (2) and turned block signal (1) red, which guards the block section it has just left.¹⁸ Therefore, the tracking distance (ℓ_{tracking}) is the sum of the train length (ℓ_t), the visual distance (ℓ_o), the length of the two block

¹⁴ R Core Team 2012.

¹⁵ CSARDI–NEPUSZ 2006.

¹⁶ DIJKSTRA 1959.

¹⁷ From now on, I will use the term 'shortest path' in an inclusive meaning for both paths with shortest length and shortest travel time. In a single calculation, naturally, only that one applies that corresponds with the weight used for the edges of the graph. If only one of it is meant, it will be specifically noted.

¹⁸ MÁV – Pályavasúti Főigazgatóság 2008b: 1.2.117.

sections (ℓ_{b1} and ℓ_{b2}) and a so-called safety distance which is 50 m according to the Signalling Instruction (F.1. sz. Jelzési utasítás) of MÁV.¹⁹

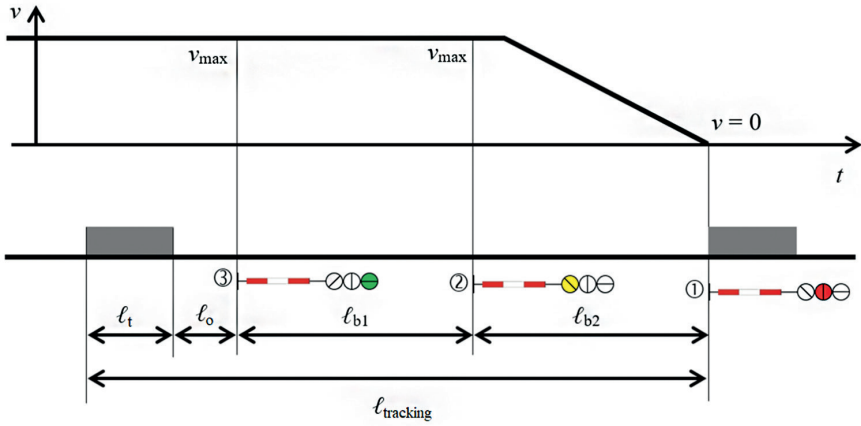


Figure 6: The principles of block signalling

Source: MOLNÁR 1977: 133

The occupancy time (s) of a block section can be calculated in a more precise way as follows proposed by UIC (Figure 7).²⁰

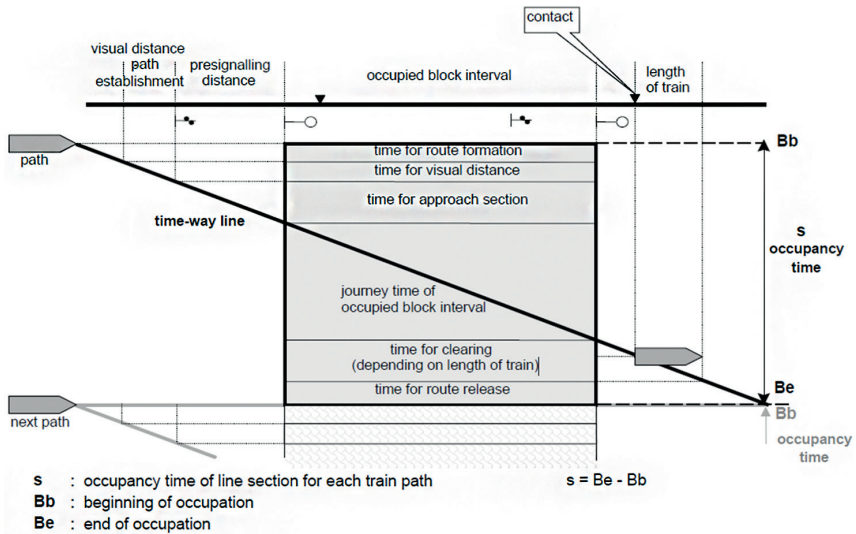


Figure 7: The way of determining the occupancy time of a line section

Source: UIC 2013

¹⁹ MÁV – Pályavasúti Főigazgatóság 2008a: 2.3.1.2.

²⁰ UIC 2013.

The occupancy time (s) is the difference between the end of occupation (Be) and the beginning of occupation (Bb). Occupancy time is the total time needed for a train to pass the block section and contains the following:

- safety margin of time required before the train physically enters the block (which is made up by the time for route formation, time for visual distance and time for approach section), the time for route formation was taken as 0 in the calculations
- the time the head of the train passes the block (journey time of occupied block interval)
- time required for clearing the block (time for clearing)
- time required for switching of the signals to allow occupancy of the next train (time for route release), this was also taken to be 0 for the calculations

$$s = t_{\text{route formation}} + t_{\text{visual distance}} + t_{\text{block}} + t_{\text{clearing}} \quad (1)$$

The visual distance can be determined from the F.1. sz. Signalling Instruction of MÁV: "The main signals have to be placed so that their display should be seen from the locomotive or control car from a distance measured in metres equal to ten thirds of the line speed measured in km/h but at least from 200 m."²¹ These values can be calculated from the previously mentioned line speed values available at the webpage of VPE Kft.

The capacity consumption can be calculated according to the UIC Code:

$$\text{Capacity Consumption} = \frac{\text{Occupancy Time} \times (1 + \text{Additional Time Rate})}{\text{Defined Time Period}} \quad (2)$$

where the Capacity Consumption was set to 0.6 and the Additional Time Rate was taken to be 0.18 according to the proposal of UIC for mixed-traffic lines. The Defined Time Period was one day, 1,440 minutes.

From equations (1) and (2) s and the Capacity Consumption the number of trains (N) that can be sent through the line section in question for on track can be determined:

$$N = \frac{\text{Capacity Consumption}}{s} \quad (3)$$

For every main signal every possible combination of the two following line sections were determined and those were chosen for which the travel time is the smallest. Similarly, the visual distance was determined for every main signal from the values of the preceding line section(s) and using this and the maximal permitted train length the Occupancy Times were determined and from these the capacity N for one day could be calculated.

The possible extra time needed to pass the stations were not taken into account and the signals of the stations were treated as they were at open lines. Therefore, the calculated capacity values are an absolute supremum of the real value for the line section in question.

²¹ MÁV – Pályavasúti Főigazgatóság 2008a: 1.2.31.

Traffic

The maximal traffic between every pair of border crossing was determined but with the restriction that the shortest path must always be used. For this, the following steps of calculation are used.

0. The flow on each line section is set to zero.

1. The shortest path (either in length or time) is determined between the two border crossing points;

2a. if the length or travel time on the shortest path is infinite, the cycle terminates

2b. if the length or travel time on the shortest path is finite, the maximal flow along this path is determined and its value is added to the flow of each line section on the path.

3. The value of the flow is subtracted from the capacity of the line sections along this path.

4. If the capacity of a line section has been reduced to zero, then its length or travel time is set to infinity, thus it will not be taken into account in the following determinations of the shortest paths.

5. Repeat from step 1.

The cycle was conducted for every pair of border crossing and the flow values of the line sections obtained in every case was summed. The calculation was carried out both in the case when all the capacities were of the values described in the previous section and in the case when the capacity of not electrified line sections was set to zero at the beginning of the calculations.

Results and discussion

The results of the calculation are discussed in the following section. The 29 border crossings are the following from the Budapest–Wien crossing in counter clockwise direction (the neighbouring country is noted in parentheses: Hegyeshalom (A), Fertőújlak határ (A), Sopron határ (A), Ágfalva határ (A), Harka (A), Szentgotthárd (A), Óriszentpéter (SLO), Murakeresztúr (HR), Gyékényes (HR), Magyarbóly (HR), Kelebia (SRB), Rösztke (SRB), Lőkösháza (RO), Kőtegyán (RO), Biharkeresztés (RO), Nyírábrány (RO), Ágerdőmajor (RO), Eperjeske (UA), Záhony (UA), Sátoraljaújhely (SK), Hidasnémeti (SK), Hídvégardó (SK), Bánréve (SK), Somoskőújfalu (SK), Ipolytarnóc (SK), Nógrádszakál (SK), Szob (SK), Komárom (SK) and Rajka (SK).

From these crossings the following 13 (which means less than half) are electrified: Hegyeshalom, Fertőújlak határ, Sopron határ, Harka, Óriszentpéter, Gyékényes, Kelebia, Lőkösháza, Biharkeresztés, Hidasnémeti, Szob, Komárom and Rajka.

Electrified line sections only

In Figure 8, one can see the results when traffic was only made possible on the electrified lines and the fastest path was chosen for every route. The calculations resulted in the same total traffic and mostly the same distribution of paths for the minimal path lengths so a map presenting these latter results is not shown here.



Figure 8: The maximal possible traffic on paths with minimal travel time between the border crossings for electric locomotives

Note: The thickness of the lines is proportional to the traffic on them. Red: electrified lines with traffic; pink: electrified lines with no traffic; yellow: unelectrified lines.

Source: TÓTH 2019

The similarity of the distribution of the results for minimal path lengths and travel times is caused by the fact that electrified border crossings are mostly situated on the main lines of the network, which are not only the fastest but also the shortest paths in the network due to historical reasons.²² Therefore, the paths with minimal travel time will not take a path that is longer in distance but faster. These lines are the most important ones in the network, most of them being part of the Trans-European Transport Network (TEN-T),²³ but this also makes international transport highly dependent on a small number of highly developed railway lines which in turn makes it vulnerable²⁴ having no realistic bypass routes in case of disruption.

As the border crossings at the northwestern part of Hungary are the most electrified but there are only a few electrified crossings in the direction of Serbia, Romania and Slovakia to the north, east and south, the traffic concentrates on the most prominent line in the west–east direction, line No. 1, especially its Budapest–Győr section. As the only electrified crossing on the river Danube is the Southern Railway Bridge at Budapest, all of the traffic crossing this river has to use this bridge which is, therefore, the bottleneck of the

²² TÓTH 2017.

²³ SZÁSZI 2018.

²⁴ SZÁSZI 2012.

international traffic.²⁵ The only solution to provide some redundancy²⁶ that can be utilised during disruptions²⁷ would be a new Danube bridge.²⁸

The results highlight the core network of the Hungarian Railways but also highlight the "electric dead ends" of the network (plotted in pink in Figure 7). These are line No. 21 (Szombathely–Szentgotthárd) because the border crossing is not electrified; the southern part of line No. 40 (Dombóvár–Pécs) since the main purpose of this section is to serve Pécs, the most important city of the southwest; the southern section of line No. 140 (Kecskemét–Szeged) which has the same purpose: to provide fast railway connection to Szeged, the most important city of the southeast; and the northeastern parts of lines No. 100 and 80 which are both important main lines inland but do not have electrified connections abroad.

Every line section

In Figure 9, the results for the calculations when all line sections were allowed to be used, even the not electrified ones, can be seen. Here, the paths with minimal travel times are shown. Similarly to the previous case, the calculations resulted the same total traffic and mostly the same distribution of paths for the shortest paths so a map presenting these latter results is not shown here.



Figure 9: The maximal possible traffic on paths with minimal travel time between the border crossings
 Note: The thickness of the lines is proportional to the traffic on them. Red: electrified lines with traffic; pink: electrified lines with no traffic; green: unelectrified lines with traffic; yellow: unelectrified lines with no traffic.
 Source: TÓTH 2019

²⁵ SZÁSZI 2013.
²⁶ TÓTH 2019.
²⁷ TÓTH 2021.
²⁸ TÓTH–LÉVAI 2021.

By allowing 27 instead of 13 border crossings to be used, the total summarised flow is tripled. If we make a rough estimate, the number of all possible paths are $n(n-1)/2$, where n is the number of border crossings. This value is 78 when $n = 13$ and when $n = 27$, $n(n-1)/2$ results in 351. Their ratio is 4.5 which should apply for the total traffic passing through them were their capacity (and of the connecting lines) the same. However, the results remarkably deviate from this ratio. This is fairly visible in Figure 8, too, as the unelectrified line sections (marked with green) are very thin showing the low flow value passing through them. This is due to the fact that their line speed is in general lower than the electrified line sections and also there are only a few short line sections with block sections which radically reduces their capacity.

Furthermore, there are much fewer unelectrified lines that actually take part in the traffic than electrified lines. This is because their line speed is lower and thus the paths prefer to reach a main line with higher line speed and continue there (as it will be proven in the next section). As the main lines still have free capacity, they can pass through most of this extra flow.

The most important unelectrified lines are the ones that are transverse (i.e. the ones that connect the radial lines which start from Budapest, at a significant distance away from the capital), making the radial main lines accessible from each other and have a relatively high line speed. Namely, these are Lines No. 17 (Zalaszentiván–Nagykanizsa), No. 10 (Celldömölk–Pápa–Győr), No. 108 (Füzesabony–Debrecen), No. 5 (Komárom–Székesfehérvár), No. 154 (Bátaszék–Baja–Kiskunhalas) and No. 135 (Szeged–Hódmezővásárhely–Békéscsaba). Line No. 108 could be especially important in providing connection between the two lines with the most traffic in the eastern region of the country.²⁹

Similarly to the previous case, the Southern Railway Bridge is still a bottleneck as the two other Danube bridges, the Újpest Bridge and the Türr István Bridge at Baja in the south are not capable of handling much traffic due to their (and of the connecting lines) lower line speeds and the lack of block sections. The best solution, however, would be a double-tracked electrified transverse route, named V0 during its planning,³⁰ which would satisfy both the freight and military needs,³¹ but final decision has still not been made about it.

The difference unelectrified lines make

If we subtract the traffic values obtained in the case when only the electrified lines were taken into account from the case when both the electrified and unelectrified lines were taken into account, the results seen in Figure 10 are obtained.

²⁹ LÉVAI 2020.

³⁰ TÓTH–HORVÁTH 2019.

³¹ SOMOGYVÁRI–TÓTH 2023.

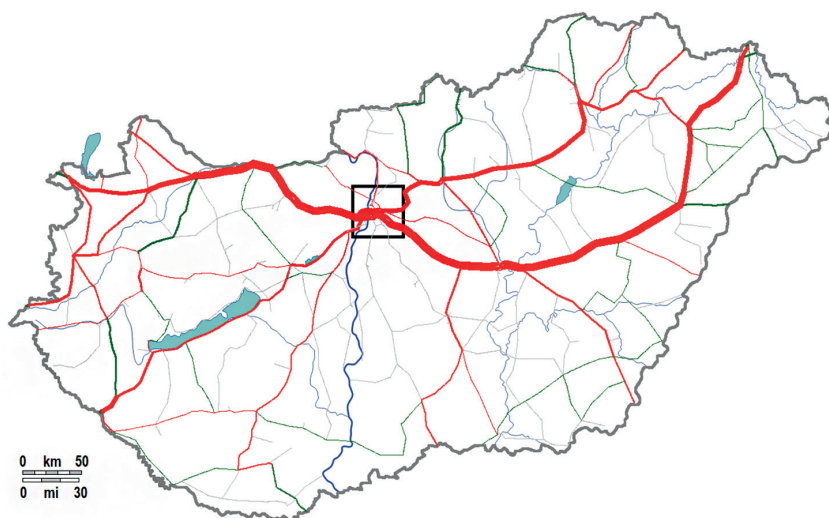


Figure 10: The change in traffic when the unelectrified lines are also taken into for minimal travel times between the border crossings

Note: The thickness of the lines is proportional to the traffic on them. Red: increase in the traffic for electrified lines; orange: decrease in the traffic for electrified lines; green: increase in the traffic for unelectrified lines.

Source: TÓTH 2019.

The results show that the electrified lines handle most of the extra traffic in the network. The most increase is caused on a west–east direction. West of the Danube a continuous traffic flow appears on Lines No. 8 (Sopron–Győr), No. 1 (Győr–Budapest) but east to the Danube lines No. 100a/100 (Budapest–Szolnok–Debrecen–Nyíregyháza–Záhony) and No. 80 (Hatvan–Miskolc) jointly take the traffic. Plus a short line section on the southwest between Nagykanizsa and Murakeresztúr also shows a great increase.

The increase in the west–east direction comes from the fact that not the main railway lines but the border crossings make the traffic to saturate due to the capacity of the line sections connecting the border crossings to the main network.

The transverse unelectrified lines that have the most significant role in making these connections as their line speed is relatively high (and mostly have block sections) are practically the same as the unelectrified lines that were important in handling the traffic (seen in the previous section): Lines No. 10 (Győr–Celldömölk), No. 18 (Zalaszentiván–Nagykanizsa), No. 108. (Füzesabony–Debrecen). This means that these lines handle a significant amount of traffic arising from the inclusion of the unelectrified border crossings.

Conclusion

In this paper, the change in the maximal traffic between all pairs of international border crossings in the railway network of Hungary was presented using a graph model containing all the main signals in the network. For the calculations, the *igraph* package of the *R* programming language and environment was used. When only the electrified lines are taken into account,

the traffic flows the main lines regardless of the fact that a minimal path length or a minimal travel time was prescribed. This means that the electrified main lines of the network provide not only the fastest but also the shortest route. When all border crossings were allowed to be passed, even the not electrified ones, only some transverse unelectrified lines gave significant contribution to conducting the flow. This means that only these are possible candidates for future development by electrification due to their geographical situation in the network.

References

- ARDAI, István T. – TÓTH, Bence (2023): A magyarországi vasúthálózat kapacitáskorlátainak matematikai modellezése különös tekintettel a Magyar Honvédség szállítási feladataira [Mathematical Modelling of the Capacity Limits of the Hungarian Railway Network with Special Regard to the Transport Tasks of the Hungarian Defence Forces]. In HORVÁTH, Balázs – HORVÁTH, Gábor (eds.): *XIII. Nemzetközi Közlekedéstudományi Konferencia* [13th International Conference on Transport Sciences]. Győr: Közlekedéstudományi Egyesület, 270–279.
- CSÁRDI Gábor – NEPUSZ Tamás (2006): The Igraph Software Package for Complex Network Research. *InterJournal, Complex Systems*, 1695. Online: <https://cran.r-project.org/web/packages/igraph/citation.html>
- DIJKSTRA, Edsger W. (1959): A Note on Two Problems in Connexion with Graphs. *Numerische Mathematik*, 1, 269–271. Online: <https://doi.org/10.1007/BF01386390>
- Eurostat (2022): Road, rail and navigable inland waterways networks by NUTS 2 region. Online: https://doi.org/10.2908/tran_r_net
- KSH (2023): *A vasútvonalak hossza vármegye és régió szerint* [Length of Railway Lines by County and Region]. Hungarian Central Statistical Office. Online: https://www.ksh.hu/stadat_files/sza/hu/sza0041.html
- LÉVAI, Zsolt (2020): A katonai közlekedési támogatás vasútföldrajzi alapú vizsgálata [Investigation of the Military Transportation Support System Based on Rail-Geographical Aspects]. *Földrajzi Közlemények*, 144(4), 380–395. Online: <https://doi.org/10.32643/fk.144.4.3>
- LÉVAI, Zsolt (2022): A Budapesti Agglomerációs Vasúti Stratégia által javasolt új budapesti vasúthálózat helyettesíthetőségének vizsgálata [Study on the Substitutability of the New Budapest Rail Network Proposed by the Budapest Agglomeration Rail Strategy]. In HORVÁTH, Balázs – HORVÁTH, Gábor (eds.): *20th European Transport Congress / XII. Nemzetközi Közlekedéstudományi Konferencia* [12th International Conference on Transport Sciences]. Győr: Közlekedéstudományi Egyesület, 342–354.
- LUSBY, Richard M. – LARSEN, Jesper – EHRGOTT, Matthias – RYAN, David (2011): Railway Track Allocation: Models and Methods. *OR Spectrum*, 33(4), 843–883. Online: <https://doi.org/10.1007/s00291-009-0189-0>
- MOLNÁR, István (1977): *Vasúti üzemszervezés* [Railway Operations Management]. Budapest: Tankönyvkiadó.
- MÁV – Pályavasúti Főigazgatóság (2008a) *F.1. sz. Jelzési utasítás* [Signalling Instructions No. F1]. Online: https://www.mavcsoport.hu/sites/default/files/upload/page/f.1._sz._jelzesi_utasitas_1-4._mod._egyseges_szerkezetben_2023.04.01-tol_hatalyos.pdf
- MÁV – Pályavasúti Főigazgatóság (2008b): *F.2. sz. Forgalmi utasítás* [Traffic Instructions No. F2]. Online: https://www.mavcsoport.hu/sites/default/files/upload/page/f.2._sz._forgalmi_utasitas_1-6._mod._egyseges_szerkezetben_2023.04.01-tol_hatalyos.pdf
- PACHL, Jörn (2020): *Railway Signalling Principles*. Online: <http://www.joernpachl.de/eBook%20RSP.pdf>
- R Core Team (2012): *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Online: <http://www.R-project.org/>

- SOMOGYVÁRI, Bence – TÓTH, Bence (2023): A V0 vasútvonal szerepe a Magyar Honvédség szállítási feladatainak ellátásában [The Role of the V0 Railway Line in the Transport Tasks of the Hungarian Defence Forces]. In HORVÁTH, Balázs – HORVÁTH, Gábor (eds.): *XIII. Nemzetközi Közlekedéstudományi Konferencia* [13th International Conference on Transport Sciences]. Győr: Közlekedéstudományi Egyesület, 335–346.
- SZÁSZI, Gábor (2007): Magyarország közlekedési infrastruktúrájának fejlesztése napjainkban: Közút vagy vasút? [Developing Hungary's Transport Infrastructure Today: Road or Rail?] *Katonai Logisztika*, 15(2), 32–59.
- SZÁSZI, Gábor (2012): Transz Európai Közlekedési Hálózat (TEN-T) tervezett fejlesztési iránya, várható hatása Magyarország vasúthálózatának fejlesztésére [The Planned Development Direction of the Trans-European Transport Network (TEN-T) and Its Expected Impact on the Development of Hungary's Rail Network]. *Szolnoki Tudományos Közlemények*, 16(Special Issue), 402–425.
- SZÁSZI, Gábor (2013): Long-Span Railway Bridges in the Transport System of Hungary. *Hadmérnök*, 8(2), 98–107.
- SZÁSZI, Gábor (2014): *A vasúti hálózati infrastruktúrával szemben támasztott újszerű védelmi követelmények kutatása, a továbbfejlesztés feltételrendszerének vizsgálata* [Research into New Security Requirements for Rail Network Infrastructure and the Conditions for Further Development]. PhD dissertation. Budapest: Ludovika University of Public Service, Doctoral School of Military Engineering. Online: <https://doi.org/10.17625/NKE.2014.028>
- SZÁSZI, Gábor (2018): Transzeurópai közlekedési hálózat [Trans-European Transport Network]. In SIPOSNÉ KECSKEMÉTI, Klára – SZÁSZI, Gábor (eds.): *Közlekedési hálózatok* [Transport Networks]. Budapest: Dialóg Campus, 173–187.
- TÓTH, Bence (2017): Állomások és állomásközpontok zavarának gráfelméleti alapú vizsgálata a magyarországi vasúthálózaton [A Graph Theoretic Analysis of Station and Inter-Station Disturbances on the Hungarian Railway Network]. *Hadmérnök*, 12(4), 52–66.
- TÓTH, Bence (2019): Redundancy Analysis of the Railway Network of Hungary. In SZITA TÓTHNÉ, Klára – JÁRMAI, Károly – VOITH, Katalin (eds.): *Solutions for Sustainable Development. Proceedings of the 1st International Conference on Engineering Solutions for Sustainable Development (ICESSD 2019)*. Miskolc: CRC Press, 358–368. Online: <https://doi.org/10.1201/9780367824037>
- TÓTH, Bence (2021): The Effect of Attacks on the Railway Network of Hungary. *Central European Journal of Operations Research*, 29, 567–587. Online: <https://doi.org/10.1007/s10100-020-00684-8>
- TÓTH, Bence (2022): A modellek felbontásának hatása az eredmények pontosságára – állomásközpont vs. térköz [The Impact of Model Resolution on the Accuracy of Results – Station Spacing vs. Spacing]. In HORVÁTH, Balázs – HORVÁTH, Gábor (ed.): *20th European Transport Congress / XII. Nemzetközi Közlekedéstudományi Konferencia* [12th International Conference on Transport Sciences]. Győr: Közlekedéstudományi Egyesület, 415–423.
- TÓTH, Bence – HORVÁTH, István (2019): How the Planned V0 Railway Line Would Increase the Resilience of the Railway Network of Hungary Against Attacks. *AARMS*, 18(3), 109–129. Online: <https://doi.org/10.32565/aarms.2019.3.9>
- TÓTH, Bence – LÉVAI, Zsolt (2021): Új vasúti Duna-hidak helyszíneinek kvantitatív analízise a vasúthálózat szempontjából [Quantitative Analysis of New Railway Danube Bridge Sites from a Railway Network Perspective]. In HORVÁTH, Balázs – HORVÁTH, Gábor (eds.): *XI. Nemzetközi Közlekedéstudományi Konferencia* [11th International Conference on Transport Sciences]. Győr: Széchenyi István Egyetem, 496–505.
- UNECE (s. a.): *Railway Density*. Online: <https://w3.unece.org/PXWeb/en/CountryRanking?IndicatorCode=47>
- UIC (2013): *Capacity* (UIC Code R 406). Paris: Union International des Chemins de fer. Online: https://tamannaie.iut.ac.ir/sites/tamannaie.iut.ac.ir/files/files_course/uic406_2013.pdf
- Vasútvonalak (s. a.): *VPE*. Online: http://www.vpe.hu/takt/vonal_lista.php
- VPE vasúthálózati térkép. Online: <https://takt.kapella2.hu/metronom-server/map>

Benjámín Hózer,¹  Réka Magdolna Kirovne Rácz,² 
Lajos Kátai-Urbán³ 

Statistical Analysis of Outdoor Waste Fires in Hungary

In Hungary, an average of 1,700 outdoor waste-related fires occur annually. The aim of the present study is to examine these fires at national level and draw the appropriate conclusions. The authors of this study seek to answer the question of what trends can be identified regarding the spatial and temporal distribution of fires. Whether recurring factors can be identified and possible ways to reduce them. How many illegal waste dumps are there in the country and what are the causes? The annual number of fires in landfill sites and the landfills most affected by outdoor fires will also be identified. Analytical work is presented through statistical figures, charts and GIS models.

Keywords: waste fire, landfill, open-air fire, statistics, GIS data

Introduction

The basic task of the fire services is to save human life and property from fire and natural disasters. The specialty of waste fires is that, in the event of their occurrence, there is no saving in value. Apart from the fact that no material damage is caused, air and groundwater pollution is significant. The spread of fires must also be taken into account, which can cause further damage. During waste fires, preventing the spread of fire is our primary goal, and reducing the emission of environmentally harmful components is the secondary.

In this article, the authors seek to answer the question of how much of a burden outdoor waste fires place on the national emergency response system. The authors examine the annual and monthly national breakdown of the number of cases, as well as their development trends in a five-year cycle. The frequency of fire incidents is also examined in order for the right conclusions to be drawn. The authors also analyse fires that occur in landfills and look for correlations.

¹ PhD student, Ludovika University of Public Service, Doctoral School of Military Engineering, e-mail: hozer.benjamin@uni-nke.hu

² Assistant Professor, Ludovika University of Public Service, Institute of Disaster Management, e-mail: racz.reka@uni-nke.hu

³ Associate Professor, Ludovika University of Public Service, Institute of Disaster Management, e-mail: katai.lajos@uni-nke.hu

During the research on waste fires in Hungary, the authors realised that the present study fills a gap, as no comprehensive scientific analysis has yet been made in Hungary regarding the figures, frequency and triggering circumstances of fires related to open-air waste. With this present work the authors aim to fill this gap, during which they hope that the issues of this field will receive more attention soon. Accurate data are of great interest in this area. This is proven by an article published in 2023 by the news portal named *Átlátszó*, which used a superficial method to collect data on the subject.⁴ The article also raises an important question about a fire incident at the landfill in Jánossomorja settlement. There have been several fires in the landfill in question and the root causes are also answered in our study.

The timeliness of the topic is well represented by the wildfire in California on 24 July 2024,⁵ the 6th largest fire in the state's history. The fire was caused by arson, in which the arsonist tried to get rid of his car wreck by pushing the burning wreck into a ravine.⁶ In the Hungarian context, there are also examples of outdoor waste incidents of outstanding importance. The only case in the capital this year with the highest alert level was also related to outdoor waste fire. In the area of railway station "Rákosrendező", in April 2024, disused railway sleepers (accumulated as waste) were burnt.⁷ As a result of the investigative work carried out by the authorities, the suspicion of intent was also proven.⁸ This clearly shows the timely character of the topic. The resulting data can serve as a basis for future preventive work.

Literature review

The authors have incorporated the conclusions and methods of the following relevant literature to evaluate their own data and to examine the emerging useful correlations.

The prevention of environmental damage associated with the direct pollution of surface and underground waters in relation to landfills is primarily an issue of environmental safety.⁹

Ibrahim et al. in their study entitled "Fires Due to Selfignition in (MSWS) Municipal Solid Waste Storages" describe the hazards of self ignition of stored materials. The composition and presence of substances susceptible to self ignition are also investigated in depth, with a particular focus on solid waste repositories. David Fisher in his online seminar called "Ambient Monitoring of Methane and Management of Fires in Landfills", provide an insight into the practical experience of fires in landfills in California, USA. The presentation provides insight into the primary technological elements of landfill operation that, if not addressed, could potentially lead to fire hazards.

⁴ FÜLÖP 2023.

⁵ The Department of Forestry and Fire Protection 2024.

⁶ DÓZSA 2024.

⁷ NDGDM 2024.

⁸ BÁNYAI 2024.

⁹ FÖLDI–PADÁNYI 2021.

Péter Debreceni's paper on the investigation and classification of the causes of Hungarian vegetation fires examines the number of forest and vegetation fires and their causes between 2011 and 2020 using statistical methods. His work shows how much of the causes are due to human negligence and other factors. Also, the study prepared by Péter Debreceni and Péter Pántya entitled "Possibilities for Identifying Periods of High Fire Risk" gives an idea of the temporal distribution of vegetation fires and the impact of meteorological factors. The work provides answers to the correlation between precipitation and temperature factors and vegetation fires. In his paper "Analysis of the Environmental Impact of Vegetation Fires from an Environmental Safety Perspective", Zsolt Nagy analyses the comparison of environmental and intervention aspects during wildfires. This includes the interaction between the effectiveness of the intervention and the environmental aspects. Imre Antal and Rudolf Nagy's paper "Fire Safety Assessment of Municipal Waste Management" provides an insight into the major occupational accident and fire safety issues in landfill operations. The causes of the fire are investigated, and a risk-based matrix is established.

Methodology

The initial data sets were provided by the National Directorate General for Disaster Management of the Ministry of the Interior (hereinafter: NDGDM) and the competent departments of the Ministry of Energy (MoE). On behalf of the NDGDM, the authors requested and received access to the records of the Disaster Management Information Program (DMIP) through a research permit. The alerts received by the central emergency services are recorded in the DMIP on an alert sheet, and the details of the incident are also recorded in the same application after the incident. The data requested covers the five-year period from 2019 to 2023, during which the outdoor waste ignited. In the data the authors received from the MoE, the authors were able to see Hungary's annual waste generation and the rates at which it is treated. Using GPS coordinates, the authors were able to depict operating landfills and fires in individual layers on an annual basis. By comparing the two layers, the number of fires in landfills per year could be obtained. Monthly average temperature and precipitation sum data were collected from the HungaroMet web platform.

For the analysis of each question, the calculation of the overall statistical average and minimum–maximum values were used. On graphs, trend analysis of a large number of records was made possible. By creating GIS models, they were able to detect regional distributions and characteristic patterns.

Evaluation of Hungary's waste production

There are three methods used to manage municipal waste:

- recycling or reuse, e.g. through deposit products
- energy recovery, i.e. conversion into heat and electricity in incinerators
- landfilling, i.e. dumping in designated landfill sites

The elements of a complex system that brings together these processes are also called "waste pyramid". In Hungary, an average of 4 million tonnes of municipal waste is generated annually (averaged over the years 2019–2023 and rounded up to a whole number). Table 1 shows the amount of municipal waste generated in Hungary and their recovery rates between the period of 2017–2021.

Table 1: Municipal waste generation and recovery rates between 2017 and 2021 in Hungary

Expressed in tonnes	2017	2018	2019	2020	2021
Utilised in material	1,319,370	1,393,808	1,357,840	1,257,020	1,410,808
Energy recovery	607,633	501,289	514,545	466,117	499,661
Deposit	1,824,811	1,850,627	1,918,634	2,123,738	2,061,269
Total waste generated	3,767,876	3,745,724	3,791,000	3,930,999	4,041,542

Source: Prepared by Benjámin Hózer based on the data of the MoE, Department of Waste Disposal

In accordance with the European Union's "Circular Economy" plan,¹⁰ Member States have been set a target to reduce the proportion of waste going to landfill to below 10% by 2035. For Hungary, as a Member State eligible for a derogation, this target must be met by 2040. The percentage of waste treated by each treatment method (as a percentage of total waste treated) in recent years is shown in Table 2.

Table 2: Percentage of waste treated by each treatment method in Hungary between 2017 and 2021

Expressed in percentage	2017	2018	2019	2020	2021
Utilised in material	35.5%	37.2%	35.8%	34.0%	36.6%
Energy recovery	16.1%	13.4%	13.6%	12.0%	12.4%
Deposit	48.4%	49.4%	50.6%	54.0%	51.0%

Source: Based on the data of the MOE, Department of Waste Disposal

Table 2 shows that the proportion of waste going to landfill has stagnated at 1–2% in Hungary, based on the latest known data, and accounts for half of all treatment. It can be concluded from this that the amount of landfilled waste should be reduced to one fifth by 2040. Using a linear trend, the proportion of waste going to landfill would have to be reduced by more than 4% each year to meet the target. This would mean nearly 170,000 tonnes less waste landfilled per year. The stagnating trend suggests that landfills will be with us for a long time to come. Significant changes are still needed in the way industry and consumers prefer other waste management methods.

¹⁰ European Commission 2024.

Analysis of data on outdoor waste fires and impact of weather conditions on these fires

In the data stored in the DMIP system, there is a separate checkbox for outdoor waste incidents. The DMIP form is filled in by the officer in charge or the duty commander after the incident. When filling in the form, he ticks the box if the incident involved outdoor waste. However, more information on the nature of the incident can only be obtained if it is accompanied by a text description. Based on a summary of the textual descriptions, the most typical occurrence conditions may be the following:

- fire in a landfill site
- fire at a waste processing site
- fire involving accumulated household waste (on residential property)
- fire in an illegal waste dump
- fire involving accumulated waste at an industrial site
- fire involving waste associated with agricultural works and vegetation fire

Annual outdoor waste incidents in Hungary are illustrated in Figure 1.

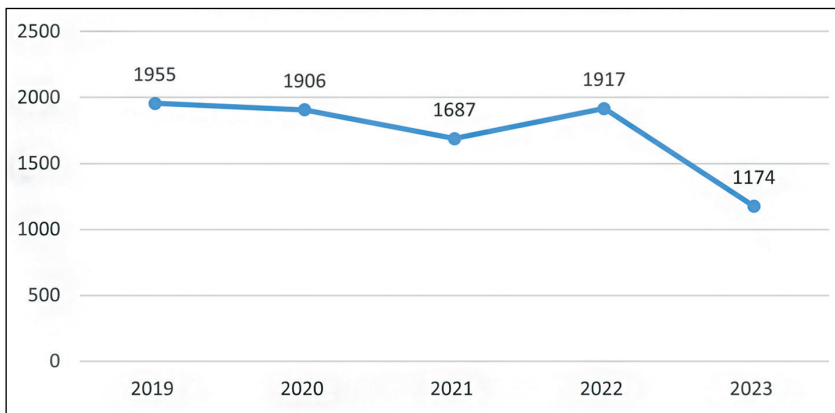


Figure 1: Total number of outdoor waste incidents in Hungary between 2019 and 2023 (total)

Source: compiled by Benjámín Hózer based on NDGDM data

Péter Debreceni analyses the vegetation fires in Hungary with a similar methodology in his above mentioned paper.¹¹ In his article, a similar correlation is observed when analysing vegetation fire data between 2011 and 2020. The significant reduction in the number of cases in 2023 does not represent a trend reduction, but only a periodic extreme. An overlap between the two statistics is visible in the years 2019 and 2020. Both years show a slight decrease as shown in Figure 2.

¹¹ DEBRECENI 2021.

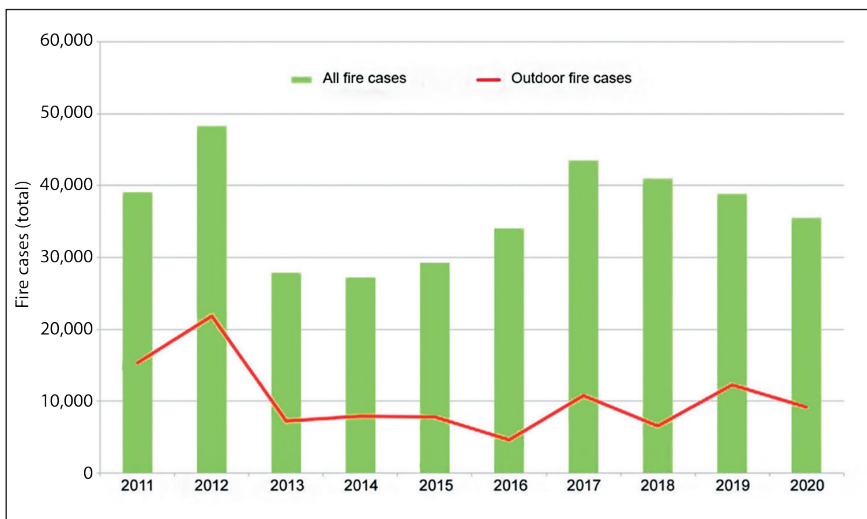


Figure 2: Total vegetation fires and the number of fires in open areas between 2011 and 2020
Source: DEBRECENI 2021

By analysing the two graphs, a trend can be observed between the number of vegetation fires and the number of fires related to outdoor waste. It can be concluded that, in the circumstances in which they occur, the highest number of outdoor waste-related fires occurs in parallel with vegetation fires.

After examining the circumstances that caused outdoor waste fires, it is also worth looking at the time of their occurrence. Looking at the data for the five years 2019–2023, the following picture emerges in Figure 3.

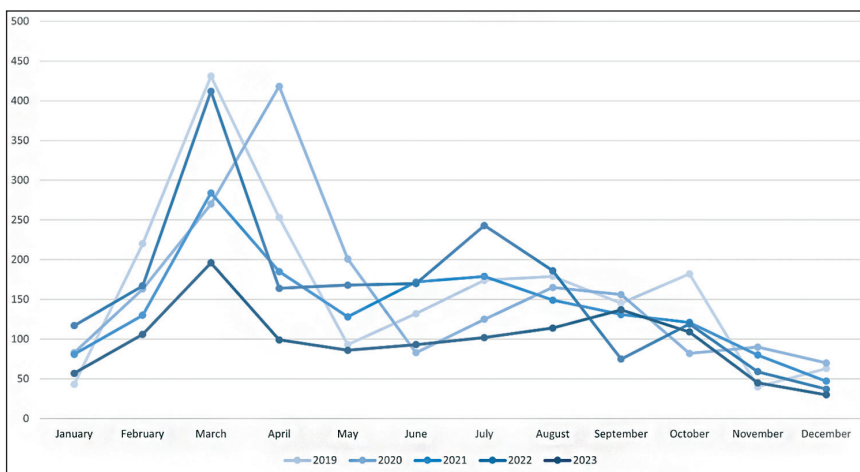


Figure 3: Outdoor waste-related fires between 2019 and 2023, broken down by month (total)
Source: compiled by Benjámín Hózer based on NDGDM data

High values are observed at the beginning of the agricultural season, i.e. in March and, except in one year, in April. The following period shows a stagnating trend until the arrival of the wet weather in October. With the onset of cold weather, the incidence rate drops significantly.

In addition to agricultural work, it is also worth observing the weather aspects. Figure 4 compares the outdoor waste fires that occurred in 2019, broken down by month, with the average monthly temperature and precipitation totals.

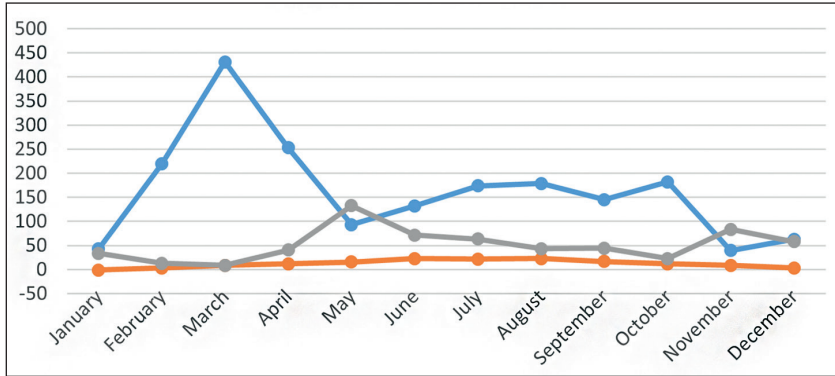


Figure 4: Comparison of outdoor waste-related fires with average heat and rainfall values for 2019
 Source: compiled by Benjámín Hózer based on NDGDM and HungaroMet data

Figure 4 shows that as rainfall decreases, the number of damage events increases. The months of March and October are outstanding examples. May and November, on the other hand, are the months with the highest rainfall, so the number of fires remains lower. A similar correlation can be observed if we compare the data with one of the graphs in the work of Debreceni-Pántya 2019 in Figure 5.

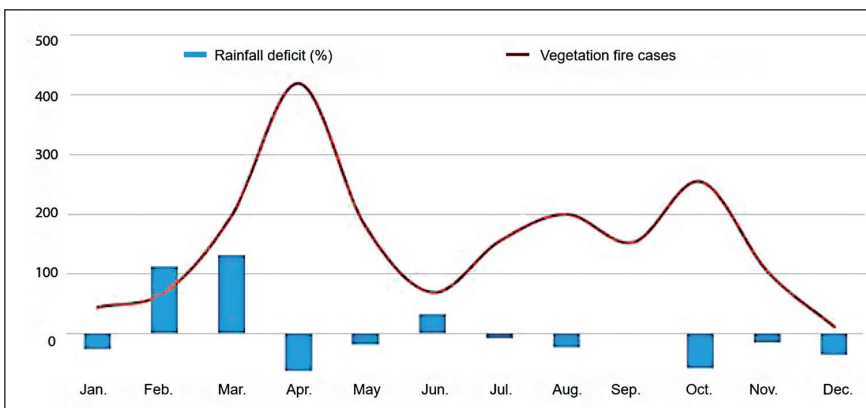


Figure 5: National monthly precipitation totals expressed as a percentage of the multi-year (1981–2010) average and comparison of vegetation fire occurrence rates in 2018
 Source: DEBRECENI–PÁNTYA 2019

By comparing Figures 4 and 5, a clear parallel can be drawn between outdoor waste-related fires and vegetation fires. Between 2018 and 2019, the trend has not changed significantly and there is a clear correlation between higher fire occurrences due to low precipitation and high temperatures.

Waste fires caused by human activity

In addition to weather factors and the triggering effect of agricultural work, other causes should also be considered.

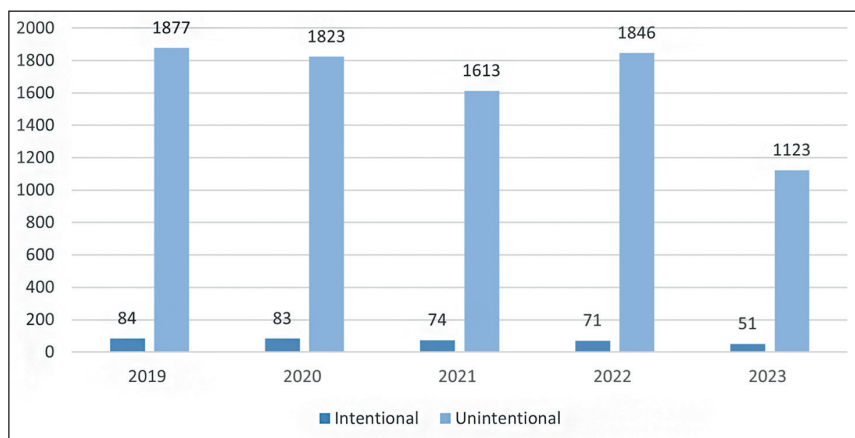


Figure 6: Presumed intentional and unintentional outdoor fires related to outdoor waste between 2019 and 2023

Source: compiled by Benjámín Hózer based on NDGDM data

Looking at the average of the 5 years examined in Figure 6, we can see that 4.5% of the fires that occurred were suspected to be intentional. The exception to this is the year 2022, where the average is only 3.8%. Taking the national data into account, the authors cannot identify any trends, the values are stagnating. The authors presented the GIS data as a case study.

Using the GIS model, no recurrent trend can be seen at national level either, however, local hotspots can be identified. The latter are typically observed near large cities and in presumably illegal waste dumps located slightly away from populated areas. One prominent example is Gyár Street in the municipality of Kerepes, Pest County. In the area under investigation, the issue of waste collected and burnt by local residents has been unresolved for many years. The large number of incidents over five years has resulted in the street being clearly delineated by GPS coordinates of the incidents in Figure 7.



Figure 7: Fires from illegal waste dumps in Gyár Street, Kerepes, between 2019 and 2023
 Source: compiled by Benjámin Hózer based on Google Maps and NDGDM data

The low number of allegedly deliberate fires and the lack of national trends suggest that the prevention and management of similar offences and crimes should be undertaken at local level. A good example of this can also be seen in the mentioned area of Kerepes settlement, where a comprehensive waste disposal programme was launched last year under the leadership of the mayor.¹²

The scope of the creation and prevention of landfill fires is closely related to the issues of the available public utility systems, such as the resilience of firefighting water systems,¹³ or the effective operation of the drainage of leachate. An additional safety organisation task of landfill safety is also the prescription of operator occupational health and safety obligations related to chemical hazards.¹⁴

Evaluation of the experience of the 'Hulladékradar' application

In April 2020, the so-called 'Hulladékradar' [Waste radar] application was launched by the Government Information Technology Development Agency, under the professional supervision of the Ministry of Energy (MoE). The app aims to provide a platform for the public to report illegal waste dumping to the authorities. The request for data from the Ministry of Energy has made it possible to view the figures of the reports on a national level, broken down by month.

¹² 24.hu 2024.

¹³ KOVÁCS–DÉNES 2019.

¹⁴ NAGY 2023.

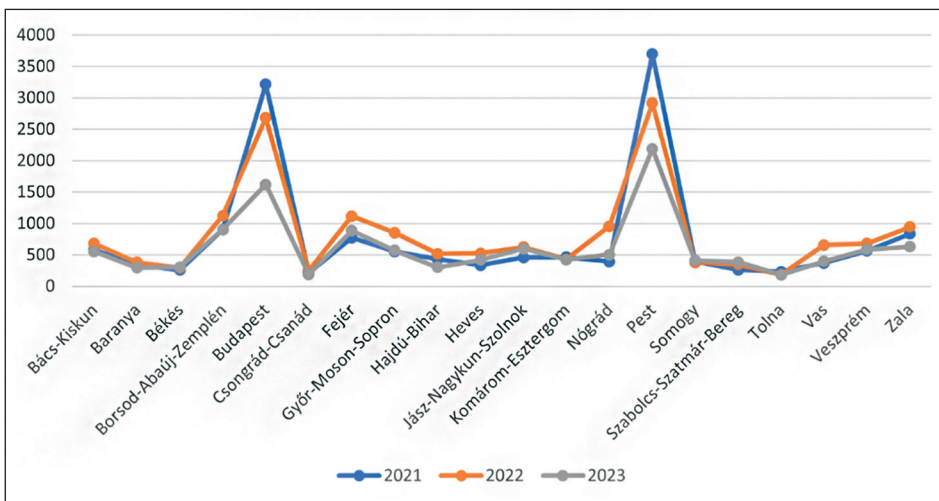


Figure 8: Notifications of illegal waste dumps between 2021 and 2023, broken down by county (number)
 Source: compiled by Benjámín Hózer based on MOE data

Figure 8 shows that the capital and its agglomeration Pest County are the most affected territory by illegal dumping. Data for 2020 has not been included as it would have been a truncated year and would have distorted the graph. The correlation between outdoor waste fires and illegal dumping can be contrasted with Figure 9.

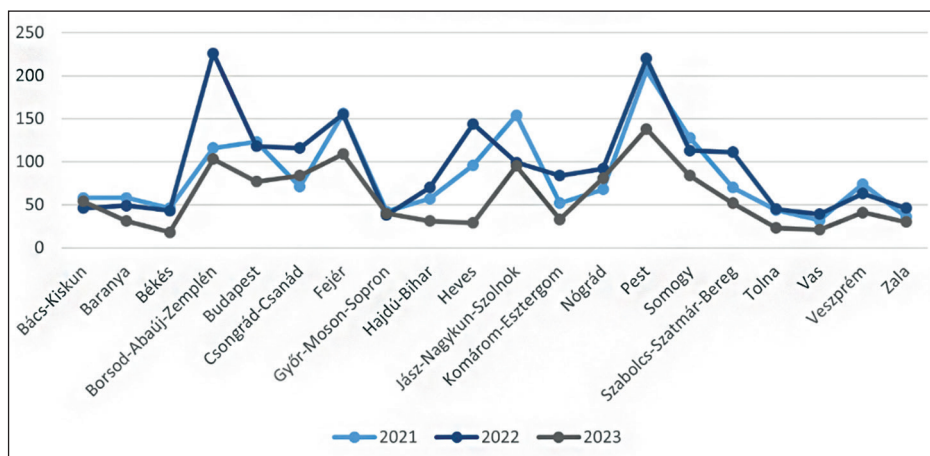


Figure 9: Outdoor waste-related fires by county between 2021 and 2023
 Source: compiled by Benjámín Hózer based on NDGDM data

Comparing Figures 8 and 9, we can see that the trends in illegal waste landfill are significantly correlated with fires related to outdoor waste. The Pest and Borsod-Abaúj-Zemplén counties show exceptionally high values. This suggests that a significant proportion of outdoor waste fires are related to weather factors (dry weather, higher number of incidents) and the number of illegal waste dumps. Figure 10 shows the data on the number of notifications and fires in the year 2023.

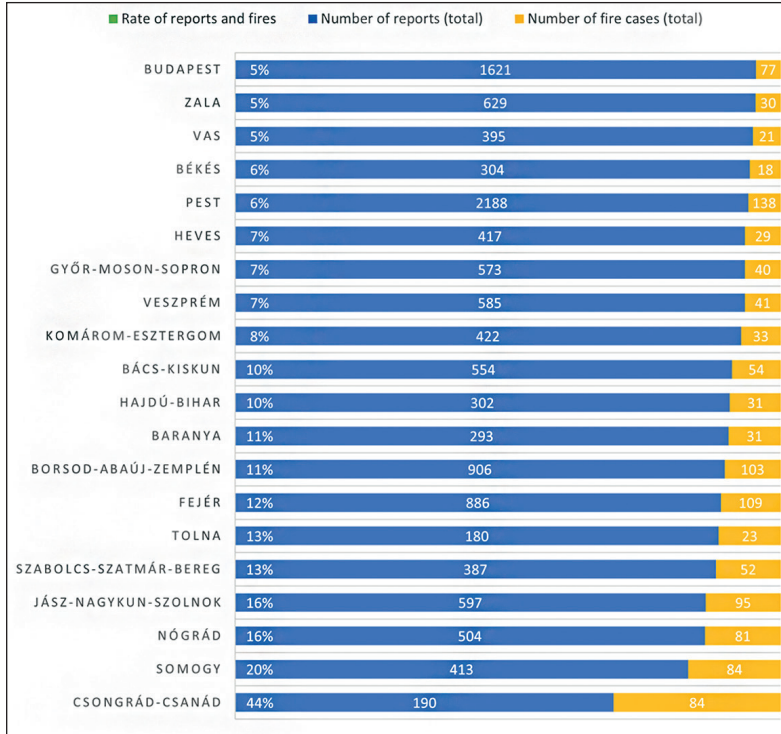


Figure 10: Number of reports of illegal waste dumps and number of open-air waste-related fires and their relative proportions in 2023

Source: compiled by Benjámín Hózer based on NDGDM and MOE data

Figure 10 shows that Csongrád-Csanád County has the worst indicator, with 190 notifications and 84 fires, which implies a 44% rate. However, this does not mean that all 84 fires involved illegal dumping. The capital city has the best rate, although the second highest number of reports comes from here, after Pest County. A GIS model can be used to view the most seriously affected fires in the capital and its agglomeration areas.

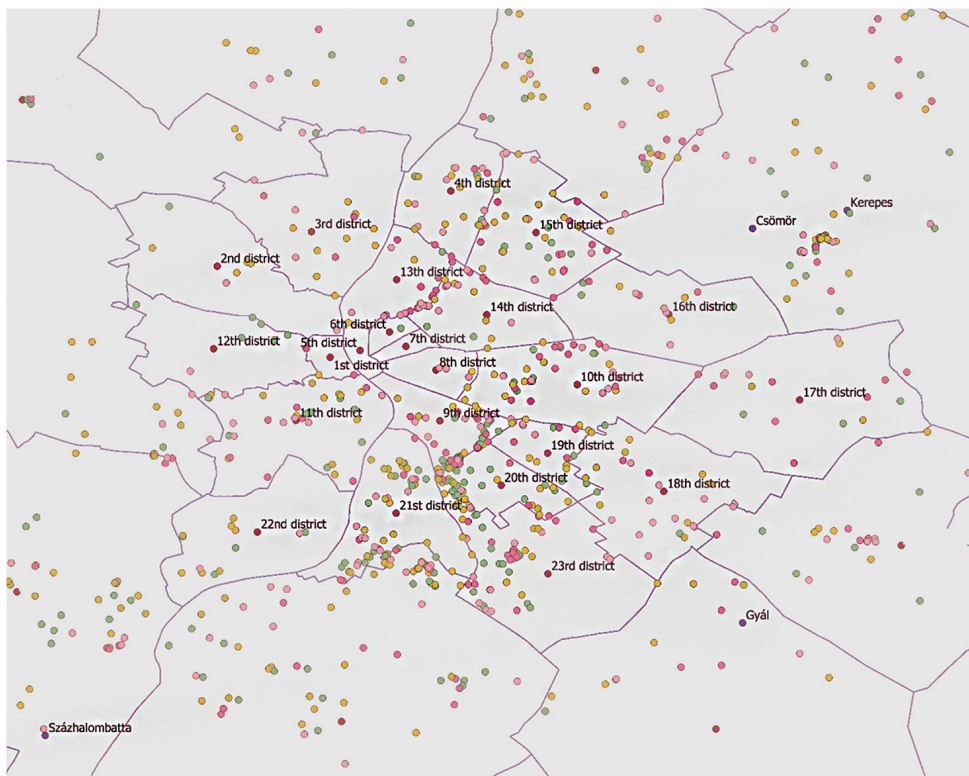


Figure 11: Open-air waste-related fires in the capital and its surrounding area between 2019 and 2023

Source: compiled by Benjámin Hózer based on NDGDM data

The GIS model in Figure 11 visually shows that the most affected segment in the capital is the forested area between the cities of Csepel and Pesterzsébet, next to Ráckeve's bank of the Danube, and the neighbouring forest on Határ road, where the homeless problem is significant. Similar densities and triggers can be observed in the railway station 'Rákosrendező' area between districts XIII and XIV.

When examining the national GIS model, the following picture emerges:

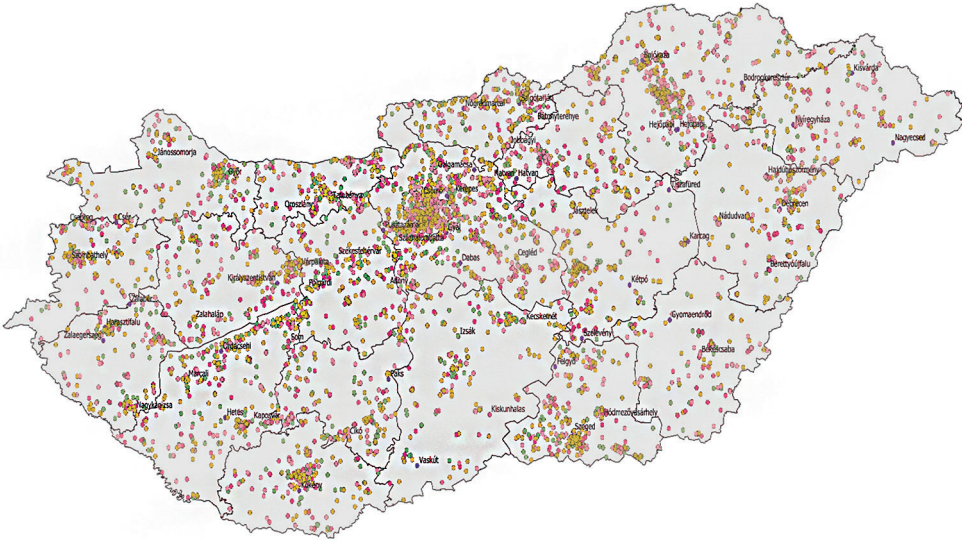


Figure 12: Hungary's outdoor waste-related fires and operating landfills between 2019–2023
Source: compiled by Benjámín Hózer based on NDGDM and MOE data

A densification is observed in Figure 12 in large cities and county centres. A similar phenomenon can be found in areas more heavily affected by tourism but less densely populated on a permanent basis, such as the southern shore of Lake Balaton. Also, an outlier belt can be observed in the Miskolc area closed by the landfills between the settlements of Sajókaza and Hejőpapi.

As stated earlier, trends in illegal waste generation need to be addressed at local level. A comprehensive country-wide methodology is currently not known, but trends and root causes can be identified. Experience has shown that citizens often resort to arson in relation to illegal waste landfills when they find the action of the authorities in this respect unsatisfactory. Moreover, the burning of garden waste instead of composting is still an integral part of the Hungarian public spirit, which also increases the number of similar incidents, which can also escalate into vegetation fires.

A good example of illegal waste management is the activity of the 'Magyar Közút'. Their 80 operating sites, with 4,000 employees, collect 10–12 million kilograms of discarded waste per year.¹⁵ In cases where the triggering factor for outdoor fires is known, human irresponsibility is the most important factor. Examples include discarded cigarette butts. This makes the work of the road safety staff a priority in the field of prevention.

¹⁵ PINTÉR 2024.

Assessment of higher-alert outdoor waste fires

Between 2019 and 2023, there were a total of 20 outdoor waste incidents with an alert level higher than the lowest “one” (I). Figure 13 illustrates the distribution of these incidents according to the circumstances of occurrence.

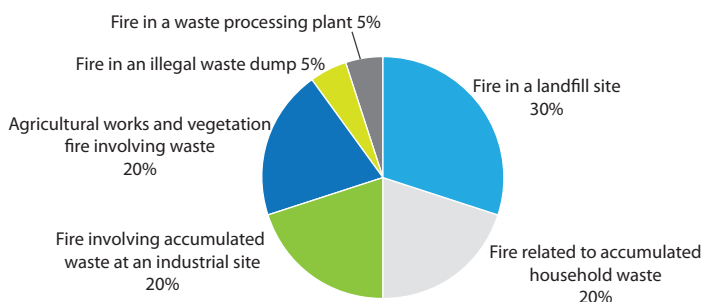


Figure 13: Location of outdoor waste fires of alert levels II–V between 2019 and 2023

Source: compiled by Benjámín Hózer based on NDGDM data

As seen in Figure 13, the vast majority of outdoor waste incidents (99.99%) end with a level I alert. As previously stated, the circumstances of their occurrence are typically fires associated with vegetation fires or illegal dumping of waste. However, the higher alarm levels, i.e. prolonged damage events, show a different trend. The proportion of fires involving large areas of agricultural work and fires caused by irresponsibly treated waste in industrial plants remains significant. However, fires in landfill sites represent an even larger proportion. It is therefore worth examining how many fires occur in landfills in Hungary each year.

The DMIP data sheets do not indicate whether the fire occurred in a landfill site, but at most the text description would give an indication. However, this cannot be reasonably filtered out from nearly 2,000 data sheets per year, and no query can be made on this criterion. For this reason, modelling was carried out using a GIS model, superimposing the coordinates of known landfills and the coordinates of fires. By extracting the fire markers within 300 m of the landfill sites, the authors were able to perform an aggregation, which yielded the following values in Table 3.

Table 3: Number of fires in landfill sites per year (total)

Year	2019	2020	2021	2022	2023	Σ
Number of fire cases	24	23	29	33	27	136

Source: compiled by Benjámín Hózer based on NDGDM data

The majority of the 33 landfills surveyed had an average of 1–3 fires between 2019–2023. However, six of these landfills show outliers as seen in Table 4.

Table 4: Total number of landfills with high number of fires between 2019 and 2023 (total)

Location	Number of fire cases
Marcali	19
Oroszlány	19
Jánossomorja	17
Jobbágyi	10
Nádudvar	9
Zalahaláp	7

Source: compiled by Benjámín Hózer based on NDGDM data

Among the priority landfills, the authors had the opportunity to inspect the landfill at the settlement of Jánossomorja. After consultation with a representative of the local volunteer fire brigade association of Jánossomorja city, it was established that the higher number of incidents at the site is typically due to the frequent failure to carry out the technologically required landfill gas extraction due to technical failure. The monitoring of the enforcement of the technological standards is the responsibility of the Government Offices. It is clear, however, that the collateral consequences can now extend to several disciplines. As demonstrated in our previous publications, most fires in landfills are due to the failure of a technological step.

One of the important means of preventing fires that may occur in industrial sites like waste collection installations and landfills is the establishment and operation of fire monitoring and alarm systems,¹⁶ which fulfil their purpose together with fire extinguishing systems.¹⁷ Property protection systems are also part of the site physical protection system. As a result of technological development, camera systems installed for the purpose of property and occupational safety tasks have also come to the fore.¹⁸ Further research can be conducted on the examination of issues related to the application of artificial intelligence tools.¹⁹

Conclusions

The following conclusions were drawn from the figures, diagrams and GIS models:

It has been found that 99.99% of outdoor waste fires end with a level I alert. The majority of outdoor waste incidents were associated with vegetation fires. This is confirmed by a close correlation with the occurrence curves and frequency of vegetation fires, which has been confirmed by other studies in the same time periods. A further parallel can be observed in the spike in the number of fires in the months of March and April, i.e. the time when agricultural work starts. Another important influencing factor is the burning of garden waste, which can easily turn into a large-scale fire.

Weather factors have a significant influence on the occurrence of outdoor waste-related fires. Rising average temperature factors increase the number of incidents, while cool periods reduce them. Increasing periods of rainfall also reduce the number of incidents.

¹⁶ ÉRCES et al. 2023a.

¹⁷ ÉRCES et al. 2023b.

¹⁸ TÓTH 2023.

¹⁹ TÓTH 2024.

There is no consistent pattern in the number of fires in illegal waste dumps. The causes of such fires need to be investigated at local level. At local level, however, patterns can be detected in some areas, based on GIS models. The areas most affected by illegal dumping are the capital and Pest County, especially those areas where more people live on the periphery of society.

The initial circumstances of outdoor waste fires reaching a higher alert level can be attributed to five factors. Prominent among these is damage to landfill sites. On an annual basis, the authors have been able to locate between 20 and 30 fires in landfill sites on the basis of the GIS data available. The majority of landfills have between 1 and 3 fires per year. Of these, six have a significantly higher number of fires. In consultation with other colleagues, it has been established that the higher number of incidents is due to non-compliance with technological standards. Examples include the failure to carry out daily covering and to extract depot gas.

The high number of outdoor waste incidents places a very heavy burden on the disaster management organisation. The figures clearly show that the two hotspots are the escalation of vegetation fires and fires deliberately caused by illegal waste dumps. The National Fire Prevention Commission is paying great attention to the containment of forest and vegetation fires. However, the eradication of illegal waste dumps is a regulation that affects many areas. In case of private land, the first step is for the competent local authority to contact the owner of the land and ask him to clean up the dump. However, the owner is almost 100% innocent in almost all cases. If the owner fails to come forward, only then will the municipality have the landfill removed ex officio. The resulting long delays are often not appreciated by residents in the area, who prefer to set the dump on fire to raise awareness. It would be preferable to set up a central competent body to eliminate these dumps, as this would speed up the process of enforcing fire and environmental protection.

References

- 24.hu (2024): HÉV rendszerekkel és tettere kész polgármesterrel eredtünk a kerepesi drogturizmus nyomába. *YouTube*, 13 July 2024. Online: <https://www.youtube.com/watch?v=XfysVfQn0Ec>
- ANTAL, Imre – NAGY, Rudolf (2021): A települési hulladékkezelés tűzbiztonságának munkavédelmi szempontú vizsgálata [Fire Safety Assessment of Municipal Waste Management]. *Védelem Tudomány*, 6(4) 42–72.
- BÁNYAI, Viktor (2024): Szándékosan gyújtottak tüzet Rákosrendezőn [Intentional Fire in Rákosrendező]. Online: <https://rtl.hu/hirado/2024/07/07/rakosrendezoi-vasutallomas-tuz>
- DEBRECENI, Péter (2021): Magyarországi vegetációtüzek keletkezési okainak vizsgálata és osztályozása [Analysis and Classification of the Causes of Vegetation Fires in Hungary]. *Műszaki Katonai Közlöny*, 31(4), 111–128. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2021.4.8>
- DEBRECENI, Péter – PÁNTYA, Péter (2019): A fokozottan tűzveszélyes időszakok meghatározásának lehetőségei [Possibilities for Identifying Periods of High Fire Risk]. *Műszaki Katonai Közlöny*, 29(1), 243–260. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2019.1.20>
- DÓZSA, Gergő György (2024): Bíróság előtt a kaliforniai tűzvész okozója [The Man Responsible for the California Fire Is on Trial]. *Index*, 30 July 2024. Online: <https://index.hu/kulfold/2024/07/30/egyresult-allamok-kalifornia-tuzvihar-kanada-birosag-targyalas/>
- European Commission (2024): *Landfill Waste*. Online: https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/landfill-waste_en

- ÉRCES, Gergő – RÁ CZ, Sándor – VASS, Gyula – VARGA, Ferenc (2023a): Fire Safety in Smart Cities in Hungary with Regard to Urban Planning. *IDRIM Journal*, 13(2), 104–128. Online: <https://doi.org/10.5595/001c.91474>
- ÉRCES, Gergő – VASS, Gyula – VARGA Ferenc (2023b): Láthatatlan tűzvédelem [Invisible Fire Prevention]. *Védelem Tudomány*, 8(Special Issue), 134–142.
- FÖLDI, László – PADÁNYI, József (2021): Környezetbiztonsági kihívások a haderők számára [Environmental Security Challenges for the Armed Forces]. In GÖCZE, István (ed.): *Az egyházak és a katonai erők előtt álló kihívások, az együttműködés lehetőségei* [Challenges Facing Churches and the Military, Opportunities for Cooperation]. Budapest: Magyarországi Egyházak Ökumenikus Tanácsa, 49–60.
- FISHER, David (2017): *Ambient Monitoring of Methane and Management of Fires in Landfills*. Online: <https://www.teriin.org/event/webinar-ambient-monitoring-methane-and-management-fires-landfills>
- FÜLÖP, Orsolya (2023): *Szeméttelpek lángokban – Mi rejlik a magyarországi tüzesetek mögött?* Online: <https://atlaszo.hu/kornyezet/2023/07/11/szemettelepek-langokban-mi-rejlik-a-magyarorszag-i-tuzesetek-mogott/>
- IBRAHIM, Muhammad Asim – HOGLAND, William – ELMBERG, E. – LÖNNERMARK, Anders – PERSON, Henry (2010): Fires Due to Selfignition in (MSWS) Municipal Solid Waste Storages. *Proceedings from Linnaeus Eco-Tech '10*, 734–744. Online: <https://doi.org/10.15626/Eco-Tech.2010.080>
- KOVÁCS, Zoltán – DÉNES, Kálmán (2019): Létesítmények közműrendszereinek robbantásos cselekmények általi veszélyeztetettsége és védelme [Threats and Protection of Public Utilities against Terrorist Blasting Activities]. *Hadtudományi Szemle*, 12(Special Issue), 77–85. Online: <https://doi.org/10.32563/hsz.2019.1.ksz.5>
- NAGY, Rudolf (2023): *A munkahelyi kémiai ártalmak és az iparbiztonság* [Chemical Hazards at Work and Industrial Safety]. *Polgári Védelmi Szemle*, 15(19), 261–279.
- NAGY, Zsolt (2015): A vegetációs tüzek környezeti hatásainak elemzése környezetbiztonsági szempontok figyelembevételével [Analysis of the Environmental Impact of Vegetation Fires from an Environmental Safety Perspective]. *Hadmérnök*, 10(1), 127–138.
- NDGDM (2024): *Vasúti talpfák égtek Rákosrendezőn* [Railway Sleepers on Fire in Rákosrendező]. Fővárosi Katasztrófavédelmi Igazgatóság [National Directorate General for Disaster Management. Online: <https://fovaros.katasztrofavedelem.hu/26128/hirek/282460/vasuti-talpfak-egtek-arakosrendezon>
- PINTÉR, M. Lajos (2024): Lázár nem kertel: kevesebb szemet, több útfelújítás! *Promenad 24*, 3 August 2024. Online: <https://promenad24.hu/2024/08/03/lazar-nem-kertel-kevesebb-szem-et-tobb-utfelujitas/>
- The Department of Forestry and Fire Protection (2024): *Park Fire*. Online: <https://www.fire.ca.gov/incidents/2024/7/24/park-fire/>
- TÓTH, Levente (2023): Közterületi térfigyelő rendszerek eltérő fejlődése Európában [The Different Development of Public Space Surveillance Systems in Europe]. *Belügyi Szemle*, 71(6), 1041–1057. Online: <https://doi.org/10.38146/BSZ.2023.6.6>
- TÓTH, Levente (2024): The Intelligent Threat: How Artificial Intelligence Can Compromise Our Security? *Belügyi Szemle*, 72(7), 1257–1273. Online: <https://doi.org/10.38146/bsz-ajia.2024.v72.i7.pp1257-1273>

Dániel Bencsik¹ 

Evaluation of Nutrient Recovery Potential through Wastewater Reclamation for Irrigation

To cope with water scarcity, assessing the viability of applying treated wastewater for irrigation – while preserving nitrogen and phosphorus – is gaining growing importance. For this objective, a small-scale activated sludge system receiving concentrated sewage with water demand for irrigation during summer was examined. This paper evaluates the facility's performance with various combinations of loading parameters using a probabilistic method, complying with a probability of 98% regarding requirements of organic matter removal and 79% concerning full nitrification. A sensitivity analysis was conducted where sludge age was shifted from 21 to 5 days during the irrigation period, allowing organic biodegradation while preserving nutrients in the water. Excess biological phosphorus removal could be observed at low aeration intensity; however, it became negligible as the dissolved oxygen concentration increased. Length of the transitional period from summer to winter operation regarding biomass activity was found to be approximately one week. Results of the study highlight the potential for reuse of treated municipal wastewater for irrigation, with robust operational performance and efficient retaining of nutrients in activated sludge plants.

Keywords: irrigation, mathematical modelling, nutrient recovery, wastewater, water scarcity

Introduction

Scarcity of water is a significant issue impacting several regions worldwide.² The availability of surface water and groundwater is proving to be a major concern as the human population grows and the demand for pure water by agriculture, industry and households increases. Supplementing freshwater resources with purified wastewater for irrigation is an increasingly common solution for addressing this challenge. Irrigation contributes to a large fraction of

¹ PhD student, Ludovika University of Public Service, Doctoral School of Military Engineering, e-mail: bencsik.daniel@uni-nke.hu

² Liu et al. 2017: 545–559.

global water consumption, being an essential practice in agriculture.³ The use of treated sewage for irrigation is becoming a widely accepted alternative as water scarcity progressively becomes more severe. Reclaimed wastewater is applicable for a variety of use cases including irrigation, since it undergoes mainstream treatment and effluent polishing processes that remove contaminants according to regulations.⁴

Reuse applications of municipal sewage for irrigation are present in many regions of our planet: the Middle East faces freshwater shortages, so for example countries such as Israel, Jordan and Saudi Arabia rely heavily on reclaimed water for agricultural irrigation.⁵ Countries in Northern Africa also rely on purified sewage for aiding agricultural production, integrated technological and management tools have been implemented with regards to water reuse.⁶ Effluent wastewater is used as a surrogate source of freshwater for agricultural irrigation in arid and semi-arid regions, within certain parts of Asia⁷ and Latin America,⁸ as well as in urban and peri-urban areas. Europe's Mediterranean region is also known to face freshwater challenges periodically. A golf course irrigation project in France revealed that the requirement for fertilisers had decreased by 67% because of using treated wastewater as a supplement for irrigation.⁹

The reuse of treated wastewater holds significant potential for military operations, particularly in arid or remote environments where water scarcity presents logistical challenges. By implementing systems for recovering nitrogen and phosphorus from wastewater, military bases and field camps can potentially reduce their reliance on external water sources while ensuring adequate supplies for irrigation and other non-potable uses.¹⁰ This practice also promotes sustainability by providing a reliable source of nutrients for food production in isolated locations. Moreover, dynamic wastewater treatment systems can adapt to changing operational needs, offering flexibility for both peacetime and conflict settings. Incorporating these technologies into military infrastructure could strengthen the resilience and operational self-sufficiency of water-scarce regions.¹¹

Numerous studies have examined the potential environmental impacts of irrigation by applying wastewater, showing considerable effects on water resources, soil and the growth of plants. Impacts on soil include heightened nutrient concentrations and organic material content, alterations in the microbial composition of soil, among other issues like salinisation. The nitrogen content of soil can be boosted by utilising treated wastewater for crop irrigation, serving as a fertiliser rich in inorganic nitrogen. Therefore, nitrogen availability of the soil is improved by wastewater-supplemented irrigation. Not only does it provide a nitrogen source,

³ CHATURVEDI et al. 2013: 389–407; PATHAK et al. 2022: 941–954; BONTEMPS–COUTURE 2002: 643–657.

⁴ HASHEM–QI 2021; OFORI et al. 2020.

⁵ BAHADIR et al. 2016: 1284–1304.

⁶ FRASCARI et al. 2018: 447–462.

⁷ CHEN et al. 2022.

⁸ SOTO-RIOS et al. 2023.

⁹ AIT-MOUHEB et al. 2018: 693–705.

¹⁰ MEDINA–WAISNER 2011: 357–376.

¹¹ DÉNES 2011: 163–172.

but it also promotes nitrogen uptake in crops as it enhances the mineralisation rate.¹² Likewise, the phosphorus content of soil could also be ameliorated by reclaimed wastewater serving as an indirect recycling mechanism.¹³

Plants not adapted to higher salt concentrations are particularly vulnerable to negative impacts, however, the effect of salinity may vary depending on the species of plant – ones tolerant to high salt content are affected to a lesser extent. To prevent the salinisation of soil when applying sewage for irrigation, regulating salinity is crucial.¹⁴ Microorganisms in soil are also impacted by irrigation with recycled wastewater, microbial activity and biomass content may show notable increases. A higher diversity of microbial populations can increase the rate of cellulose degradation, making nutrients more accessible to plants. Furthermore, promoting microbial diversity and activity can assist in maintaining the integrity of soil and the overall health of plants – growth is stimulated, soil quality is improved, and protection is provided for both plants and soil against contaminants.¹⁵ Particulate matter in wastewater reclaimed for irrigation has the potential to obstruct pores in soil, thus, the risk of runoff is increased as the infiltration rate diminishes.¹⁶

Preserving and improving the quality of freshwater resources can be supported by recovering wastewater for irrigation. This is feasible by reducing water pollution through avoiding the discharge of sewage into water bodies and by decreasing the usage of mineral fertilisers in agriculture.¹⁷ Certain countries have stringent policies implemented for administering the reuse of wastewater, however, most of them lack regulations.¹⁸

Due to requirements involving low sodium concentrations, reverse osmosis applications are common in the production of water for irrigation. However, the feasibility of this technology is limited when it comes to productive use in agriculture due to the removal of essential nutrients. Consequently, research was conducted on methods of desalination without removing nutrients. An integrated system has been proposed that incorporates microfiltration, nanofiltration and reverse osmosis membranes capable of retaining crucial nutrients while reducing salinity for irrigation. Suspended solids are rejected by microfiltration equipment and divalent ions and nutrients such as Ca^{2+} and Mg^{2+} are concentrated by nanomembrane filters. Due to molecular cutoff weight, nanofiltration is more likely to reject divalent ions than monovalent ions, such as Na^+ and K^+ .¹⁹ Nanofiltration concentrate is then diluted with reverse osmosis permeate so that the sodium content is balanced. In a comparative study the reclamation of tertiary treated sewage effluent using nanofiltration and reverse osmosis was evaluated. According to the results, reverse osmosis is a suitable method for supplying

¹² QUEMADA et al. 2016: 341–368.

¹³ DAMALERIO et al. 2022: 343–348.

¹⁴ ZIKALALA et al. 2019.

¹⁵ MKHININI et al. 2020.

¹⁶ LIU et al. 2022: 4171–4181.

¹⁷ CHOJNACKA et al. 2020.

¹⁸ HASHEM-QI 2021.

¹⁹ MRAYED et al. 2011: 144–149.

polished effluent wastewater to irrigate crops grown for food production. However, due to its low rejection ratio of monovalent ions, nanofiltration was found not to be suitable.²⁰

In another study focusing on reuse applications, a two-step treatment technology was presented, incorporating a conventional activated sludge system for organic biodegradation combined with a biological aerated filter; featuring a flexible operation mode that allows the production of discharge water that is rich in nutrients during periods with irrigation and nutrient-scarce during seasons without irrigation. The nutrient removal step is only necessary when the effluent requires storing or discharging. It was found that implementing nitrification after a standby period was faster than during the initial start-up procedure. Moreover, the storage conditions of the biomass during the standby interval affect the time required to achieve full nitrification during periods involving irrigation.²¹

Modelling encompasses two fundamental approaches – either following the principles of the Life Cycle Assessment where a wide range of influencing factors are considered with a particular emphasis on water footprint,²² or evaluating the efficiency of wastewater treatment plants on a mass balance basis. The first approach is holistic, whilst the latter – derived from the description of biokinetic processes – is deterministic. The Regional Water Reuse Model proposes a decision-support tool utilising a general algebraic modelling platform. It was developed to evaluate the cost-effectiveness of various treatment alternatives for producing source water from reclaimed sewage that meets crop requirements regarding irrigation. The model identifies optimal solutions using a cost-minimisation framework.²³ Another study presents an integrated modelling approach focusing on contaminants of emerging concern. Thirteen pollutants were investigated based on their chemical properties and potential hazardous characteristics to evaluate their environmental and human health risks. Predicted concentrations of the constituents were in good agreement with measured data, suggesting that – because of their limited attenuation – some of these pollutants could pose potential concerns surrounding ecotoxicity.²⁴

Mathematical process simulation incorporates several sub-models describing wastewater treatment using dynamic computations – integrated using an ordinary differential equation solver – accounting for environmental and operational conditions that change over the course of time. Based on input data, such methods can predict the water quality of treated effluents.²⁵ One such application features the simulation environment GPS-X coupled with CapdetWorks to estimate the performance of different wastewater treatment technologies and concludes that microbial risks could effectively be reduced by employing adequate tertiary treatment on wastewater for the purpose of irrigation.²⁶

²⁰ HAFIZ et al. 2021.

²¹ NORTON-BRANDÃO et al. 2013: 85–98.

²² MORETTI et al. 2019: 1513–1521.

²³ TRAN et al. 2016: 9390–9399.

²⁴ DELLI COMPAGNI et al. 2019.

²⁵ SADRI MOGHADDAM – PIRALI 2021: 67–76.

²⁶ ABDELMOULA et al. 2021.

The referenced studies stress that irrigation by reclaimed water entails technical, legal, as well as socio-economical aspects. The present study focuses on the improvement of existing wastewater treatment technologies that feature biological nutrient removal. It examines shifts in operating conditions involving summer periods when the effluent wastewater can be utilised for irrigation. It seeks to determine the amount of nutrients potentially recovered by varying the sludge age, the required adjustment to aeration intensity according to these conditions, along with the time requirement associated with the transition between two operational periods.

Materials and methods

To provide effluent quality estimation and recommendations regarding operational parameters, biokinetic models were simulated dynamically. Biochemistry-based mass balance analysis is a widespread practice in the process design and optimisation of water resource recovery facilities. The novelty of this paper lies in presenting an operational setup oriented towards use cases in irrigation. Even though certain treatment plants may meet water quality criteria regarding irrigation, there is no general guideline to facilities for operational adaptation between periods with and without irrigation.

Description of the studied facility

According to this paper's objectives, a low-capacity wastewater treatment plant in Hungary incorporating an activated sludge process – with a dry weather peak flow of 810 m³/d – was selected as the site of the study, broadly corresponding to a population equivalent of 7,500. The process layout consists of mechanical pre-treatment featuring screens and sand traps, primary clarifiers to remove settleable solids, and a biological reactor cascade in a Modified Ludzack-Ettinger configuration including anoxic zones followed by aerobic zones for implementing pre-denitrification and nitrification – nitrate transport is facilitated by internal recirculation from the last aerobic cell to the first anoxic cell. The mixed liquor suspended solids – separated by a secondary clarifier from the water phase – are pumped back to biological treatment via the recirculated activated sludge stream. Prior to secondary sedimentation ferric ions are dosed for chemical phosphorus removal. Solids treatment processes (thickening and dewatering) in the sludge line are implemented in a combined unit for sludge volume reduction, with reject water redirected prior to the bioreactor cascade. As this is a small-scale treatment plant, it does not incorporate anaerobic digestion, the dewatered sludge is transferred to another, higher capacity facility. Figure 1 illustrates the process configuration set up in the simulation software GPS-X 7.0. – the model layout is simplified and does not show details regarding internal recirculation or chemical dosing. Biological treatment consists of a cascade of six – three anoxic and three aerobic – completely mixed zones.

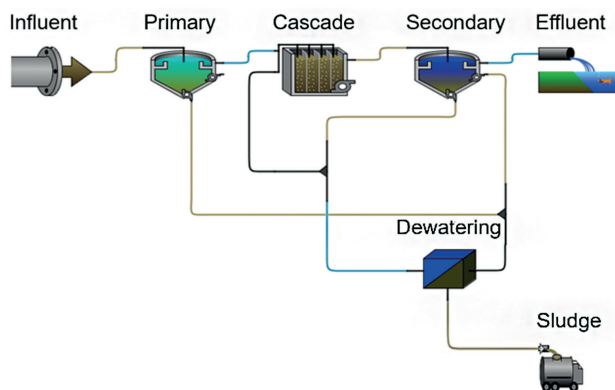


Figure 1: Process model configuration of the studied wastewater treatment plant

Source: compiled by the author

The actual loading conditions of the studied facility involve influent wastewater temperature in the range of 11 to 23 °C, operated at an average sludge age of 21 days with the concentration of mixed liquor suspended solids at 3.5 g/l, the dissolved oxygen concentration ranging from 1.5 to 2 mg/l in the aerobic compartments. The flow rate of internal recirculation averages to 3 times that of the influent, while the mean ratio of flow rate between recirculated activated sludge and influent is 1.2. The combined sludge treatment unit process features solids capture of 92.5%. Table 1 summarises the parameters regarding dimensions of unit operations.

Table 1: Main input parameters regarding dimensions of the studied configuration

Parameter	Value	Unit
Surface area of primary clarifier	38.5	m ²
Depth of primary clarifier	3.5	m
Biological reactor anoxic zone volume	600	m ³
Biological reactor aerobic zone volume	600	m ³
Depth of biological reactor cascade	4.0	m
Surface area of secondary clarifier	77.0	m ²
Depth of secondary clarifier	4.0	m

Source: compiled by the author based on design specification

Numerical methods of modelling wastewater treatment

Simulating processes in water resource recovery is complex and relies on numerous sub-models, such as hydraulic models, units fractionating influent wastewater constituents,²⁷

²⁷ ORHON-ÇOKGÖR 1997: 283–293.

phase separation concepts,²⁸ equations describing gas exchange, process control logic, as well as biokinetic matrices. Biokinetic simulation is a widely adapted approach of describing biochemical reactions that take place in water resource recovery facilities. Activated Sludge Models are biokinetic models that rely on Monod-kinetics to simulate microbial growth and decay metabolisms in the activated sludge technology, one of the most applied processes in municipal sewage treatment.²⁹ Good Modelling Practice guidelines in the field of wastewater treatment have been developed by the International Water Association. Aiming for the utilisation of models in a rigorous and consistent manner, these procedures present an outline for mathematical model development and application regarding treatment plants. The modelling practice focuses on issues such as sensitivity analysis and uncertainty analysis, also covering other areas such as model implementation, calibration and validation.³⁰

Simulating the mass balance of state variables (components) using Activated Sludge Models draws upon integrated scalar transport equations with simplified hydraulics where diffusion rates are assumed to be negligible – of which a general form is described by equation (1).

$$V_r \frac{dL_i}{dt} = Q_{in}(L_{i,in} - L_i) + \text{rate}F_{L_i} \quad (1)$$

where V_r is the useful reactor volume (m^3), L_i is the concentration of state variable i (g/m^3), Q_{in} is the volumetric flow rate of the reactor influent (m^3/d), $L_{i,in}$ is the concentration of state variable i in the influent to the reactor (g/m^3) and $\text{rate}F_{L_i}$ is the mass reaction rate of state variable i (g/d).

The kinetics of Activated Sludge Model No. 2 are extensively applied for biological wastewater treatment when the purpose of simulation is to describe the microbiological transformations in activated sludge regarding carbon, nitrogen and phosphorus. Modelled phenomena include the uptake of substrate, growth and decay of biomass involving heterotrophs and autotrophic nitrifiers; therefore, predicting the removal of organic contaminants, biological nitrogen removal by nitrification and denitrification, as well as enhanced biological phosphorus removal. With the model containing both heterotrophic and autotrophic organisms, it considers various factors impacting microbial activity and treatment performance – temperature, pH, among the availability of nutrients and dissolved oxygen.³¹ Process rates derived from stoichiometric and kinetic terms – expanded for individual components from a Gujer matrix – are incorporated into equation (1) to describe state variable mass balances around the activated sludge process.³²

²⁸ PATRY–TAKÁCS 1992: 473–479.

²⁹ HENZE et al. 1999: 165–182.

³⁰ RIEGER et al. 2012.

³¹ BRUN et al. 2002: 4113–4127.

³² HAUDUC et al. 2010: 825–839.

Parameter estimation and performance analysis

In the process of model parameter estimation, parameters are tuned with the target of fitting simulated variables to measured data. This can either be executed manually or by employing an optimiser algorithm dedicated to minimising the error between measured and calculated values. A typical algorithm utilises the sum of errors squared as an objective function that must be minimised during the calculation procedure, as shown by equation (2).

$$f = \sum_{y=1}^m \sum_{x=1}^{n_y} (z_{x,y} - f_{x,y})^2 \quad (2)$$

where f is the objective function, m is the number of response variables, n_y is the number of tests for response y , $z_{x,y}$ is the measured value of response y in test x , $f_{x,y}$ is the value of response variable y computed by the model in test x .

Monte Carlo simulation was performed for performance analysis of the treatment plant, assuming uniform distribution of input parameters and accordingly, evaluating outputs relied on effluent quality parameter distribution.³³

Data collection and reconciliation

Data preparation involved variable sets involving total suspended solids, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, alkalinity, total phosphorus, total nitrogen and ammonium nitrogen. Water quality datasets concerning raw and treated wastewater were collected for a year-long period with a weekly sampling frequency. Data manipulation encompassed outlier removal based on engineering sanity checks to confirm the reliability of data by calculating the ratio of biochemical to chemical oxygen demand and the ammonia nitrogen to total N ratio. After the reconciliation of the datasets, they were grouped into two subsets according to a summer timeframe – from 1 May to 30 September with irrigation requirements – and a winter period – from 1 October to 30 April without the need for irrigation. The intervals were determined based on the climate characteristics of Hungary, mainly based on average quantities of precipitation.³⁴ A method of influent wastewater fractionation³⁵ was applied for input data generation regarding the model configuration. The selected approach for influent characterisation is based on chemical oxygen demand, meaning that dissolved and suspended fractions ought to be fine-tuned until measured figures of biochemical oxygen demand and total suspended solids are reasonably matched. Online data regarding discharge flow rate and temperature were also collected and daily average data series were prepared after sanity checks against sensor errors. Hourly peak values of influent loading were compared to daily average flow values, to evaluate fluctuations regarding diurnal flow patterns.

³³ BENEDETTI et al. 2011: 2219–2224.

³⁴ PONGRÁCZ et al. 2014: 305–321.

³⁵ HAIDER et al. 2003: 203–209.

Results and discussion

Simulation and result interpretation required a model scenario setup for exporting variables related to sludge retention, organic biodegradation, nutrient removal, dissolved oxygen and air supply. According to the objective of this study the model configuration was simulated using the combined global and local solvers of GPS-X 7.0 to conduct the following series of runs:

1. Steady-state scenario: averaged quantity and water quality of influent wastewater
2. Probabilistic scenario: thousand parallel runs with normal distribution of annual input parameters to evaluate treatment performance
3. Probabilistic scenario for summer period: thousand parallel runs with parameters specific to the period with irrigation to evaluate summer-specific plant performance
4. Variable sludge age scenario: sludge age varied to analyse the relationship of nutrient removal and sludge age with summer-specific loading and environmental conditions
5. Variable dissolved oxygen scenario: dissolved oxygen concentration varied to analyse the relationship of nutrient removal and dissolved oxygen availability with summer-specific loading and environmental conditions
6. Transient scenario: dynamic run conducted to quantify the duration of the transitional phase between operational periods with irrigation and without irrigation

Treatment plant performance

The treatment facility is fed with a high concentration of pollutants based on data concerning raw sewage. On account of a separate rainwater and wastewater collection system, the daily amount of hydraulic loading is relatively stable without significant seasonal variation. However, there are greater variations in parameters considering organic matter and nutrients. Annual raw influent and treated effluent data are compiled in Table 2, containing averaged values and ranges representing the distribution of data values between the 10th and 90th percentile.

Table 2: Influent and effluent wastewater characteristics

Parameter	Influent value			Effluent value			Unit
	Average	Minimum	Maximum	Average	Minimum	Maximum	
Volumetric flow rate	810	785	833	–	–	–	m ³ /d
Chem. oxygen demand	980	660	1,210	45.0	28.5	55.0	mg/l
Biol. oxygen demand	559	395	696	–	–	–	mg/l
Total suspended solids	588	415	715	–	–	–	mg/l
Total nitrogen	88	74	115	9.8	6.2	16.3	mg/l
Total phosphorus	14.9	10.0	17.1	0.52	0.20	1.50	mg/l
Alkalinity	442	425	468	65	45	80	mg _{CaCO₃} /l

Source: compiled by the author based on measured data

The sewage treatment plant reflects stable operation based on the processed data. Due to long sludge age the high nitrogen load is efficiently nitrified and denitrified – alkalinity is also sufficiently available and does not limit nitrification. In terms of effluent quality, requirements of a directive by the European Union for environmentally responsible disposal are also met.³⁶

The characterisation of influent chemical oxygen demand is implemented based on four separate fractions, consisting of roughly 4% soluble unbiodegradable organics, 35% soluble readily biodegradable substrate, 12% unbiodegradable particulate organics and 49% particulate slowly biodegradable substrate. Most of these fractions are biologically degradable in nature – dissolved components being readily degradable and suspended constituents with larger particle size being slowly degradable. According to further parameter fine-tuning during fractionation, the ratio of volatile to total suspended solids was set as 0.7, the ratio of particulate COD to VSS was adjusted to 1.5 and the biodegradable fraction of particulates was assigned a value of 0.82. Based on practical experience involving the typical properties of municipal sewage, the described input parameters were found to be in reasonable ranges.

Due to possible industrial sources contributing to the raw influent composition, it was concluded that kinetic model parameters may be fine-tuned to reproduce the measured effluent quality more accurately.³⁷ Assuming averaged influent water quality at quasi steady-state conditions, an experimental run was conducted where the maximum specific growth rates of heterotrophic and autotrophic biomass species were adjusted to match the observed effluent total nitrogen more closely. The adjusted growth rate of heterotrophs was specified as 4 d^{-1} and the nitrifying biomass growth rate was tuned to a value of 1 d^{-1} .

A probabilistic method was applied to assess system performance on a yearly basis. This consisted of one thousand model runs with input data varied and analysis of treated water concentration distributions as response functions, with regards to chemical oxygen demand, total phosphorus, total nitrogen and NH_4 nitrogen. Figure 2 displays cumulative distribution functions of total nitrogen (TN), ammonium nitrogen ($\text{NH}_4\text{-N}$), total phosphorus (TP) and chemical oxygen demand (COD). The described procedure was repeated with wastewater characteristics specific to the summer season, keeping the same design settings of the facility.

³⁶ PREISNER et al. 2020: 694–708.

³⁷ RIEGER et al. 2012.

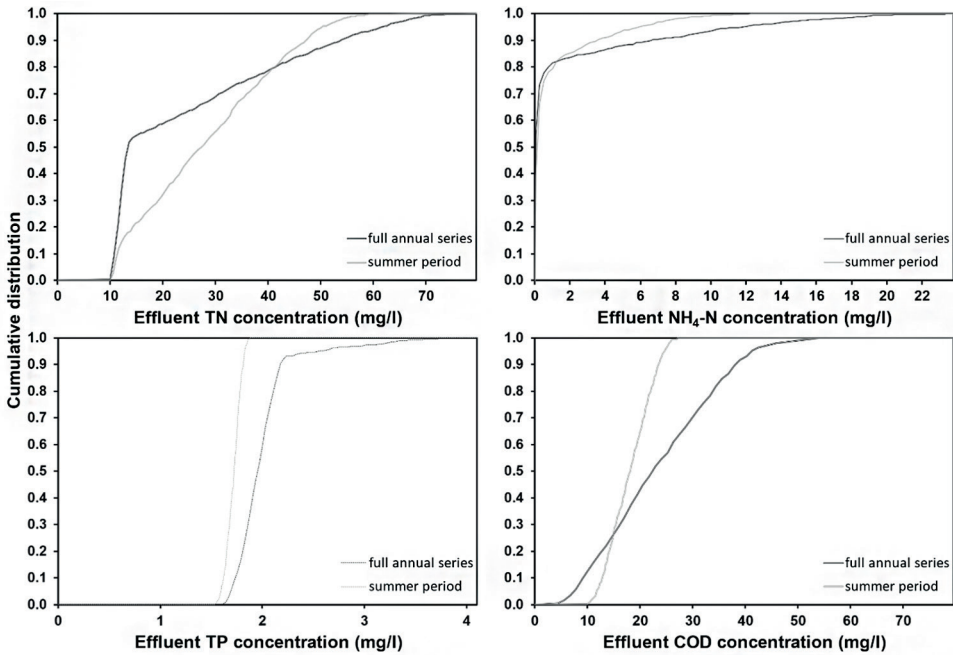


Figure 2: Treatment plant performance analysis using annual and summer-specific datasets

Source: compiled by the author

Through the application of chemical removal, phosphorus precipitation can be achieved to comply with a water quality requirement set at a concentration of 2 mg/l. The annual average remains compliant with this limit, but implying that this as an absolute threshold, a target below 2 mg/l would be recommended for the sake of environmental security. A maximum requirement of 60 mg/l regarding chemical oxygen demand can be met during the summer period as well as annually. These concentration boundaries were arbitrarily defined based on reasonable typical ranges from experience with sizing projects. Increased feed temperatures enhance biodegradation, thereby boosting treatment performance. Ammonium nitrogen concentrations indicate that wastewater undergoes complete nitrification with 79% probability, potentially limited by low temperatures in winter. Since the plant is configured with a dissolved oxygen setpoint of 2 mg/l throughout the year, a total N effluent quality target of 20 mg/l is more difficult to maintain during summer due to the bioreactors potentially getting over-aerated.

Nutrient recovery potential in function of sludge age and dissolved oxygen

When total nitrogen removal is not mandatory, reducing sludge age is a good practice – suggesting an alternative operational status for maintaining nutrient concentrations. Without requiring denitrification and internal recirculation, the total biological reactor volume may

be aerated. Likewise, operators may also suspend metal dosing for chemical phosphorus precipitation. The present scenario's main objective is to determine the sludge age suitable for effective carbon removal without substantial nitrification taking place.

To quantify the mass of nitrogen and phosphorus recovered, the discharged water volume was multiplied by the effluent TN and TP concentrations, simulated for summer-specific conditions.

After identifying an appropriate sludge age, the aeration intensity was varied. Chemical oxygen demand (COD) of the treated water, along with N and P recovery were plotted, as the process air flow was increased from 0 to 14,000 m³/d – demonstrated by Figure 3.

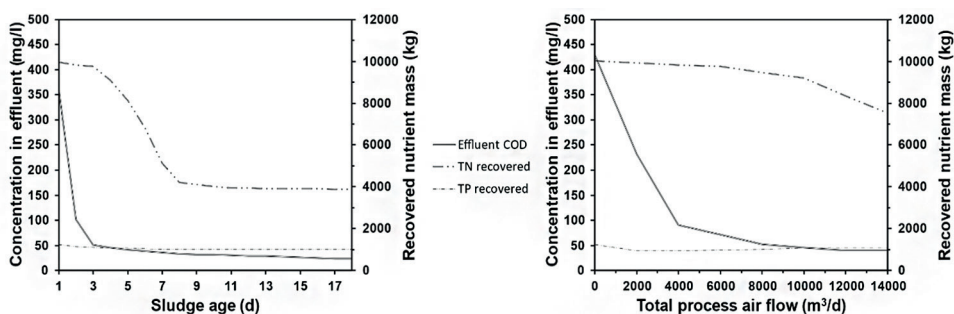


Figure 3: Effluent COD, recovered TN and TP mass in function of sludge age and air flow

Source: compiled by the author

The minimum sludge age was found to be 4 days long for safely implementing efficient carbon degradation. Due to the persisting inert fraction of carbon, no significant decrease in oxygen demand could be observed beyond 5 days. At shorter ranges – being insufficient for proper biological nutrient removal – a higher TN recovery was perceived. Increasing the sludge age results in more nitrification and denitrification, explaining the drop in recovered TN mass. As chemical P removal was stopped for the summer operation, no considerable trend was observed in TP recovery. A sludge age of 5 days was deemed ideal for aeration sensitivity analysis.

Under non-aerated conditions organic matter removal was shown to reduce severely due to carbon degradation slowing down in the absence of an aerobic environment. With the aeration intensity raised, decreased oxygen demand was observed to remain in the effluent – above 9,000 m³/d that corresponds to dissolved oxygen concentration of roughly 1 mg/l, no further boost in carbon removal could be observed. Nitrification is much more dependent on oxygen supply, thus, the air flow exceeding 9,000 m³/d entailed a steep decline in N recovery. Excess biological phosphorus removal activity could be observed in case of anaerobic and aerobic zones co-existing at low aeration intensities. On the contrary, the possibility of this phenomenon is eliminated by higher process air flow rates preventing zones with anaerobic conditions.

Determination of the transitional interval

As of this section of the paper two modes of operation had been presented – one featuring seasonal irrigation, and another dedicated to lowering the environmental impact on the receiving body of water. The difference between them is that outside of the period with irrigation no effective removal of TN or TP is necessary. While the stoichiometry-based removal of phosphorus by chemical addition relies on a fast reaction, restoring the biological activity necessary for nitrification and denitrification proves to be more challenging. To assess the time required for this transitional period, transient simulations – initialised from a summer operational status – were executed where the target sludge age was raised from 5 days to 21 days, starting from the second day simulated. The pumps for internal recirculation were activated, chemical dosing for P removal was switched on, a dissolved oxygen setpoint of 2 mg/l was specified in the aerobic compartments, and aeration was disabled in the first half of the reactor cascade. The resulting N and P concentration profiles are portrayed in Figure 4.

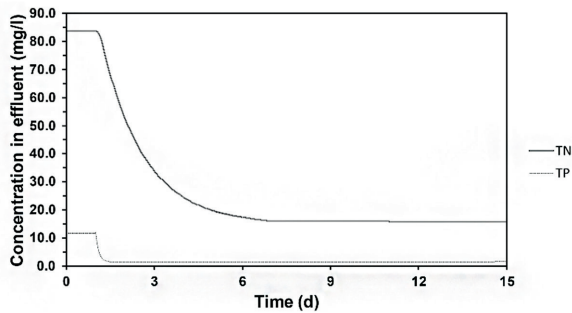


Figure 4: TN and TP profile during a transition from summer to winter operation

Source: compiled by the author

The chemical means of phosphorus removal allow for fast rates, but stabilising biological N removal involves a considerably longer transition. Treated water TN sharply decreases along with the growth of nitrifying bacteria. Consistently with the residence time requirement of nitrifying sludge at 20 °C, the length of this transitional phase was found to be nearly 7 days.

Discussion

According to the implemented methods of parallel simulation runs, a probabilistic approach was used rather than relying on a time series to vary input parameters. Beneficially, this evades the interpretation of time intervals between discrete sampling points that would create false concentration profiles dynamically.³⁸ In contrast, the probabilistic method pointed out that there may be combinations of influent parameters where the plant would not meet absolute thresholds of water quality requirements during periods not monitored using on-site

³⁸ GLASS-RODI 1982: 337–358.

measurements. In this aspect the process of nitrification is most sensitive, as in 21% of the cases based on results of the study complete nitrification could not be achieved. According to current regulations of the European Union, absolute limit-based effluent requirements are in place, not reflecting the nature of this phenomenon; however, it could be more advantageous to develop adaptive control regulations regarding the frequency and probability of exceeding thresholds, from the aspect of environmental security and long-term sustainability.³⁹

It shall be noted that this paper focuses on the field of process engineering, to determine optimal conditions for nutrient recovery; thus, a complete technical feasibility of irrigation was out of scope and not examined. It must also be stressed that reducing sludge age may raise the risk of discharging pathogenic microorganisms,⁴⁰ therefore, disinfection is crucial prior to recycling treated water for agricultural irrigation.⁴¹ To remove potential suspended solids discharged from the supernatant of secondary clarifiers, sand filtration may also be needed as an additional phase separation step. Adsorption by activated carbon may serve as an advanced treatment step to remove certain organic micropollutants.⁴² These stages of treatment are primarily for polishing clarifier effluents but can also slightly reduce the nutrient recovery potential. To enhance energy efficiency in conventional activated sludge systems⁴³ or configurations featuring sequenced batch reactors,⁴⁴ operational parameters may require further fine-tuning.

Adaptation of biomass to another operational setup takes time, however, from summer-specific environmental conditions the transition to winter operational settings is relatively fast due to warmer influent sewage and the consistently lower retention time requirement for nitrifiers. Transitioning from a winter-specific to a summer-specific operational status would prove to be more difficult, yet in that case according to the goal of the study, biological nutrient removal could be avoided. Regarding activated sludge technologies, transitions may occur at faster rates than in case of biofilm systems without sludge recirculation;⁴⁵ this shall be the topic of further studies, along with detailed incorporation of hydraulics within an activated sludge process.⁴⁶

Summary

The reuse of treated municipal wastewater is in growing demand, a typical use case of this is the supplementation of water resources for irrigation. Its feasibility presents various challenges, with this study focusing on the specific topic of retaining nutrients in the water through operational changes in a treatment plant. A small-scale system was studied for this purpose, receiving concentrated influent sewage, with requirements of source water for irrigation

³⁹ PREISNER et al. 2020: 694–708.

⁴⁰ FERRER et al. 2010: 2972–2980.

⁴¹ NASSER et al. 2006: 83–88.

⁴² GUTIÉRREZ et al. 2021.

⁴³ KARCHES 2022.

⁴⁴ BÁBA–KARCHES 2021: 61–66.

⁴⁵ LIU et al. 2020.

⁴⁶ KARCHES–BUZÁS 2011: 117–125.

throughout the summer-specific operational period, provided that the load on the receiving stream of water for discharge is reduced during seasons without irrigation.

To summarise the main findings of the study, robustness of the system was assessed by performance analysis of biotreatment using a probabilistic method. Compliance regarding effluent water quality requirement on chemical oxygen demand was achieved in case of 98% of scenario runs, while a probability of 79% was calculated with regards to attaining full nitrification. Systemwide sludge age can be reduced from 21 to 5 days during summer intervals with irrigation demand, sustaining carbon removal while retaining nutrients in the treated water. Low aeration intensities may allow aerobic and anaerobic zones to co-exist and lead to excess biological P removal, but sufficient concentrations of dissolved oxygen prevent this. The adaptational time requirement for activated sludge from summer environmental conditions with irrigation requirements to a winter operational parameter set was found to be close to 7 days, corresponding to requirements of sludge age for nitrifying sludge at standard temperature.

References

- ABDELMOULA, Sara – SOROUR, Mohamed T. – ALY, Samia A. Abdelrahman (2021): Cost Analysis and Health Risk Assessment of Wastewater Reuse from Secondary and Tertiary Wastewater Treatment Plants. *Sustainability*, 13(23). Online: <https://doi.org/10.3390/su132313125>
- AIT-MOUHEB, Nassim et al. (2018): The Reuse of Reclaimed Water for Irrigation around the Mediterranean Rim: A Step Towards a More Virtuous Cycle? *Regional Environmental Change*, 18, 693–705. Online: <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1292-z>
- BÁBA, Barnabás – KARCHES, Tamás (2021): Operation Improvement of Sequencing FED-Batch Wastewater Treatment. *Pollack Periodica*, 16(2), 61–66. Online: <https://doi.org/10.1556/606.2020.00302>
- BAHADIR, Müfit – AYDIN, Mehmet E. – AYDIN, Senar – BEDUK, Fatma – BATARSEH, Mufeed (2016): Wastewater Reuse in Middle East Countries – A Review of Prospects and Challenges. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25(5), 1284–1304.
- BENEDETTI, Lorenzo – CLAEYS, Filip – NOPENS, Ingmar – VANROLLEGHEM, Peter A. (2011): Assessing the Convergence of LHS Monte Carlo Simulations of Wastewater Treatment Models. *Water Science & Technology*, 63(10), 2219–2224. Online: <https://doi.org/10.2166/wst.2011.453>
- BONTEMPS, Christophe – COUTURE, Stéphane (2002): Irrigation Water Demand for the Decision Maker. *Environment and Development Economics*, 7(4), 643–657. Online: <https://doi.org/10.1017/S1355770X02000396>
- BRUN, Roland – KÜHNI, Martin – SIEGRIST, Hansruedi – GUJER, Willi – REICHERT, Peter (2002): Practical Identifiability of ASM2d Parameters – Systematic Selection and Tuning of Parameter Subsets. *Water Research*, 36(16), 4113–4127. Online: [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00104-5](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00104-5)
- CHATURVEDI, Vaibhav – HEJAZI, Mohamad – EDMONDS, James – CLARKE, Leon – KYLE, Page – DAVIES, Evan – WISE, Marshall (2013): Climate Mitigation Policy Implications for Global Irrigation Water Demand. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20(3), 389–407. Online: <https://doi.org/10.1007/s11027-013-9497-4>
- CHEN, Fu – Ma, Jing – AKHTAR, Shahzad – KHAN, Zafar Iqbal – AHMAD, Kafeel – ASHFAQ, Asma – NAWAZ, Hummera – NADEEM, Muhammad (2022): Assessment of Chromium Toxicity and Potential Health Implications of Agriculturally Diversely Irrigated Food Crops in the Semi-Arid Regions of South Asia. *Agricultural Water Management*, 272. Online: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107833>

- CHOJNACKA, Katarzyna W. – WITEK-KROWIAK, Anna – MOUSTAKAS, Konstantinos G. – SKRZYPCZAK, David – MIKULA, Katarzyna – LOIZIDOU, Maria D. (2020): A Transition from Conventional Irrigation to Fertigation with Reclaimed Wastewater: Prospects and Challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 130. Online: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109959>
- DAMALERIO, Regina G. – BELTRAN, Arnel B. – AVISO, Kathleen B. (2022): Bi-Objective Optimisation Model for Phosphorous Removal in Wastewater Treatment Plants. *Chemical Engineering Transactions*, 97, 343–348. Online: <https://doi.org/10.3303/CET2297058>
- DELLI COMPAGNI, Riccardo – GABRIELLI, Marco – POLESEL, Fabio – TUROLLA, Andrea – TRAPP, Stefan – VEZZARO, Luca – ANTONELLI, Manuela (2019): Risk Assessment of Contaminants of Emerging Concern in the Context of Wastewater Reuse for Irrigation: An Integrated Modelling Approach. *Chemosphere*, 242(8). Online: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125185>
- DÉNES, Kálmán (2011): Aspects of Water Supply and Sewage Systems in Military Camps. *Bolyai Szemle*, 20(1), 163–172. Online: <https://bit.ly/4ckgOLW>
- FERRER, Iveta – VÁZQUEZ, Felicitas – FONT, Xavier (2010): Long Term Operation of a Thermophilic Anaerobic Reactor: Process Stability and Efficiency at Decreasing Sludge Retention Time. *Biore-source Technology*, 101(9), 2972–2980. Online: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.12.006>
- FRASCARI, Dario et al. (2018): Integrated Technological and Management Solutions for Wastewater Treatment and Efficient Agricultural Reuse in Egypt, Morocco, and Tunisia. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 14(4), 447–462. Online: <https://doi.org/10.1002/ieam.4045>
- GLASS, J. – RODI, Wolfgang (1982): A Higher Order Numerical Scheme for Scalar Transport. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 31(3), 337–358. Online: [https://doi.org/10.1016/0045-7825\(82\)90012-3](https://doi.org/10.1016/0045-7825(82)90012-3)
- GUTIÉRREZ, Marina – GRILLINI, Vittoria – PAVLOVIĆ, Dragana M. – VERLICCHI, Paola (2021): Activated Carbon Coupled with Advanced Biological Wastewater Treatment: A Review of the Enhancement in Micropollutant Removal. *Science of the Total Environment*, 790. Online: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148050>
- HAFIZ, MhdAmmar – HAWARI, Alaa H. – ALFAHEL, Radwan – HASSAN, Mohammad K. – ALTAEE, Ali (2021): Comparison of Nanofiltration with Reverse Osmosis in Reclaiming Tertiary Treated Municipal Wastewater for Irrigation Purposes. *Membranes*, 11(1). Online: <https://doi.org/10.3390/membranes11010032>
- HAIDER, S. – SVARDAL, Karl – VANROLLEGHEM, Peter A. – KROISS, Helmut (2003): The Effect of Low Sludge Age on Wastewater Fractionation (S_s , S_i). *Water Science & Technology*, 47(11), 203–209. Online: <https://doi.org/10.2166/wst.2003.0606>
- HASHEM, Mahmoud S. – QI, Xuebin (2021): Treated Wastewater Irrigation – A Review. *Water*, 13(11). Online: <https://doi.org/10.3390/w13111527>
- HAUDUC, Hélène – RIEGER, Leiv – TAKÁCS, Imre – HÉDUI, A. – VANROLLEGHEM, Peter A. – GILLOT, Sylvie (2010): A Systematic Approach for Model Verification: Application on Seven Published Activated Sludge Models. *Water Science & Technology*, 61(4), 825–839. Online: <https://doi.org/10.2166/wst.2010.898>
- HENZE, Mogens – GUJER, Willi – MINO, Takahashi – MATSUO, Tomonori – WENTZEL, Mark C. – MARAIS, Gerrit v. R. – VAN LOOSDRECHT, Mark C. M. (1999): Activated Sludge Model No.2d, ASM2D. *Water Science & Technology*, 39(1), 165–182. Online: <https://doi.org/10.2166/wst.1999.0036>
- KARCHES, Tamás (2022): Fine-Tuning the Aeration Control for Energy-Efficient Operation in a Small Sewage Treatment Plant by Applying Biokinetic Modeling. *Energies*, 15(17). Online: <https://doi.org/10.3390/en15176113>
- KARCHES, Tamás – BUZÁS, Kálmán (2011): Methodology to Determine Residence Time Distribution and Small Scale Phenomena in Settling Tanks. In MAMMOLI, Andrea A. – BREBBIA, Carlos A. (eds.): *WIT Transactions on Engineering Sciences*. Southampton: WIT Press, 117–125. Online: <https://doi.org/10.2495/MPF110101>

- LIU, Jungou – YANG, Hong – GOSLING, Simon N. – KUMMU, Matti – FLÖRKE, Martina –PFISTER, Stephan – HANASAKI, Naota – WADA, Yoshihide – ZHANG, Xinxin – ZHENG, Chunmiao – ALCAMO, Joseph – OKI, Taikan (2017): Water Scarcity Assessments in the Past, Present, and Future. *Earth's Future*, 5(6), 545–559. Online: <https://doi.org/10.1002/2016EF000518>
- LIU, Qiuju – WANG, Jinfeng – HE, Ruonan – HU, Haidong – WU, Bing – Ren, Hongqiang (2020): Bacterial Assembly during the Initial Adhesion Phase in Wastewater Treatment Biofilms. *Water Research*, 184(5). Online: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116147>
- LIU, Xufei – ZHANG, Lin – HE, Xuefei (2022): Emitter Clogging Characteristics Under Reclaimed Wastewater Drip Irrigation: A Meta-Analysis. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(10), 4171–4181. Online: <https://doi.org/10.1002/jsfa.11766>
- MKHININI, Marouane – BOUGHATTAS, Iteb – ALPHONSE, Vanessa – GIUSTI-MILLER, Stéphanie – BANNI, Mohamed – BOUSSERRHINE, Nouredine (2020): Heavy Metal Accumulation and Changes in Soil Enzymes Activities and Bacterial Functional Diversity under Long-Term Treated Wastewater Irrigation in East Central Region of Tunisia (Monastir Governorate). *Agricultural Water Management*, 235(4). Online: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106150>
- MEDINA, Victor F. – WAINNER, Scott A. (2011): Military Solid and Hazardous Wastes – Assessment of Issues at Military Facilities and Base Camps. In LETCHER, Trevor M. – VALLERO, Daniel A. (eds.): *Waste. A Handbook for Management*. Amsterdam: Elsevier, 357–376. Online: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381475-3.10025-7>
- MORETTI, Michele – VAN PASSEL, Steven – CAMPOSEO, Salvatore – PEDRERO SALCEDO, Francisco – DOGOT, Thomas – LEBAILLY, Philippe – VIVALDI, Gaetano A. (2019): Modelling Environmental Impacts of Treated Municipal Wastewater Reuse for Tree Crops Irrigation in the Mediterranean Coastal Region. *Science of the Total Environment*, 660(3), 1513–1521. Online: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.043>
- MRAYED, Sabri – SANCIOLO, Peter – ZOU, Linda – LESLIE, Greg (2011): An Alternative Membrane Treatment Process to Produce Low-Salt and High-Nutrient Recycled Water Suitable for Irrigation Purposes. *Desalination*, 274(1), 144–149. Online: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.02.003>
- NASSER, Abid M. – PAULMAN, H. – SELA, Orr – KTAITZER, T. – ÇIKUREL, Haim – ZUCKERMAN, I. – MEIR, A. – AHARONI, Avi – ADIN, Avner (2006): UV Disinfection of Wastewater Effluents for Unrestricted Irrigation. *Water Science & Technology*, 54(3), 83–88. Online: <https://doi.org/10.2166/wst.2006.452>
- NORTON-BRANDÃO, Diana – SCHERRENBERG, Sigrid M. – VAN LIER, Jules B. (2013): Reclamation of Used Urban Waters for Irrigation Purposes – A Review of Treatment Technologies. *Journal of Environmental Management*, 122, 85–98. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.03.012>
- OFORI, Solomon – PUŠKÁČOVÁ, Adéla – RŮŽIČKOVÁ, Iveta – WANNER, Jiří (2020): Treated Wastewater Reuse for Irrigation: Pros and Cons. *Science of the Total Environment*, 760(5). Online: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144026>
- ORHON, Derin – ÇOKGÖR, Emine Ubay (1997): COD Fractionation in Wastewater Characterization – The State of the Art. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 68(3), 283–293. Online: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4660\(199703\)68:3<283::AID-JCTB633>3.0.CO;2-X](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4660(199703)68:3<283::AID-JCTB633>3.0.CO;2-X)
- PATHAK, Santosh – ADUSUMILLI, Naveen C. – WANG, Hua – ALMAS, Lal K. (2022): Irrigation Water Demand and Elasticities: A Case Study of the High Plains Aquifer. *Irrigation Science*, 40(1), 941–954. Online: <https://doi.org/10.1007/s00271-022-00804-z>
- PATRY, Gilles G. – TAKÁCS, Imre (1992): Settling of Flocculent Suspensions in Secondary Clarifiers. *Water Research*, 26(4), 473–479. Online: [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(92\)90048-9](https://doi.org/10.1016/0043-1354(92)90048-9)
- PONGRÁCZ, Rita – BARTHOLY, Judit – KIS, Anna (2014): Estimation of Future Precipitation Conditions for Hungary with Special Focus on Dry Periods. *Időjárás*, 118(4), 305–321.
- PREISNER, Michał – NEVEROVA-DZIOPAK, Elena – KOWALEWSKI, Zbigniew (2020): An Analytical Review of Different Approaches to Wastewater Discharge Standards with Particular Emphasis on Nutrients. *Environmental Management*, 66(8), 694–708. Online: <https://doi.org/10.1007/s00267-020-01344-y>

- QUEMADA, Miguel – DELGADO, Antonio – MATEOS, Luciano – VILLALOBOS, Francisco J. (2016): Nitrogen Fertilization I: The Nitrogen Balance. In VILLALOBOS, Francisco J. – FERERES, Elias (eds.): *Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture*. Cham: Springer, 341–368. Online: https://doi.org/10.1007/978-3-319-46116-8_24
- RIEGER, Leiv – GILLOT, Sylvie – LANGERGRABER, Günter – OHTSUKI, Takayuki – SHAW, Andrew – TAKÁCS, Imre – WINKLER, Stefan (2012): *Guidelines for Using Activated Sludge Models*. London: IWA Publishing. Online: <https://doi.org/10.2166/9781780401164>
- SADRI MOGHADDAM, Shabnam – PIRALI, Mohammad R. (2021): Modeling and Calibration of a Full-Scale Wastewater Treatment Plant using GPS-X Model (A Case Study of Tehran). *Journal of Numerical Methods in Civil Engineering*, 5(4), 67–76. Online: <https://doi.org/10.52547/nmce.5.4.67>
- SOTO-RIOS, Paula C. – NAGABHATLA, Nidhi – ACEVEDO-JUÁREZ, Brenda (2023): Circulatory Pathways in the Water and Wastewater Sector in the Latin American Region. *Water*, 15(6). Online: <https://doi.org/10.3390/w15061092>
- TRAN, Quynh K. – SCHWABE, Kurt A. – JASSBY, David (2016): Wastewater Reuse for Agriculture: Development of a Regional Water Reuse Decision-Support Model (RWRM) for Cost-Effective Irrigation Sources. *Environmental Science & Technology*, 50(17), 9390–9399. Online: <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b02073>
- ZIKALALA, Prudentia – KISEKKA, Isaya – GRISMER, Mark (2019): Calibration and Global Sensitivity Analysis for a Salinity Model Used in Evaluating Fields Irrigated with Treated Wastewater in the Salinas Valley. *Agriculture*, 9(2). Online: <https://doi.org/10.3390/agriculture9020031>

Tartalom

BALLA TIBOR, PADÁNYI JÓZSEF: <i>Műszaki kiválóságok: Guggenberger Károly címzetes vezérőrnagy</i>	5
SOMOGYI TAMÁS, NAGY RUDOLF: <i>Az extrém hideg időjárás okozta kihívások a pénzügygazathoz tartozó létfontosságú rendszerelemek üzemeltetésében</i>	15
ISTVÁN RAKACZKI: <i>Structures of the Árpád Line</i>	29
NORBERT DARUKA, KÁLMÁN DÉNES, ZOLTÁN KOVÁCS, RÓBERT VÉG, ISTVÁN EMBER: <i>The Possibilities and Limitations of Applying 3D Printing Technology by the Engineer Troops of the Hungarian Defence Forces</i>	47
SEBŐK ISTVÁN: <i>A 3D-nyomtatás helyének és szerepének vizsgálata a fegyverzettechnikai oktatásban</i>	55
HÓZER BENJÁMIN, PÁNTYA PÉTER: <i>A légzésvédelmi eszközök fejlődésének történeti áttekintése a magyar tűzoltóság és légoltalom szolgálatában a 19. és 20. század fordulóján – 3. rész, oxigén-izoláció</i>	63
MOHAI ÁGOTA ZSUZSANNA, SZABÓ ISTVÁN LÁSZLÓ, ELEK BARBARA: <i>Az emberi tényezők szerepe a tűzjelző berendezések hatékonyságában</i>	75
BENCE TÓTH: <i>The Effect of Railway Electrification on the Passability of Hungary</i>	91
BENJÁMIN HÓZER, RÉKA MAGDOLNA KIROVNE RÁCZ, LAJOS KÁTAI-URBÁN: <i>Statistical Analysis of Outdoor Waste Fires in Hungary</i>	109
DÁNIEL BENCSIK: <i>Evaluation of Nutrient Recovery Potential through Wastewater Reclamation for Irrigation</i>	127