



MŰSZAKI KATONAI KÖZLÖNY

Kiemelt közlemények

**BALLA TIBOR, PADÁNYI JÓZSEF: Műszaki
kiválóságok: Vitéz Czetz Alfonz tábornok**

**ISTVÁN EMBER: Effectivity Experiment
of PA-12 Shaped Charge Liners**

**GÁVAY GYÖRGY: Honvédségi járművek
kezelőszerveinek pótlása, módosítása
3D-nyomtatási technológia
alkalmazásával**

**34. évf. (2024)
3. szám**

ISSN 2063-4986 (elektronikus)



**LUDOVIKA
EGYETEMI KIADÓ**

Műszaki Katonai Közlöny

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

ISSN 2063-4986 (elektronikus)

Főszerkesztő

Kovács Zoltán

Szerkesztőbizottság elnöke

Padányi József

Szerkesztőbizottság

Cibulová Klára

Daruka Norbert

Hanka László

Hornyacsek Júlia

Horváth Tibor

Kovács Tibor

Kovács Zoltán

Kuti Rajmund

Lőrincz Árpád

Lukács László

Pavel Manas

Nagy Rudolf

Tóth Rudolf

Szerkesztőség címe

Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Művelési Támogató Tanszék

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

Levelezési cím: 1581 Budapest, Pf. 15

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

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

Kiadó

Nemzeti Közszolgálati Egyetem Ludovika Egyetemi Kiadó

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

1083 Budapest, Ludovika tér 2.

A kiadásért felel: Deli Gergely rektor

Olvasószerkesztők: Bujdosó Hajnalka, Resofszi Ágnes

Tördelőszerkesztő: Fehér Angéla



Tartalom

Balla Tibor, Padányi József Műszaki kiválóságok: Vitéz Czetz Alfonz tábornok	5
István Ember Effectivity Experiment of PA-12 Shaped Charge Liners	15
Gávay György Honvédségi járművek kezelőszerveinek pótlása, módosítása 3D-nyomtatási technológia alkalmazásával	25
Kátai-Urbán Maxim, Varga Ferenc, Vass Gyula Logisztikai raktárak oltóvízszennyezés-megelőzési felkészültségének ellenőrzése – módszertani javaslat	39
Gabriella László The Influence of Polystyrene Thermal Insulation on Fire Load	53
Györki Gábor Utókezelési technológiák és lehetséges alkalmazhatóságuk egyedi szennyvíztisztító kisberendezésekben	63
Hózer Benjámin, Pántya Péter A légzésvédelmi eszközök fejlődésének történeti áttekintése a magyar tűzoltóság és a légoltalom szolgálatában a 19. és 20. század fordulóján – 2. rész, a szűrő típusúak ...	77
Daruka Norbert, Dénes Kálmán, Kovács Zoltán, Vég Róbert, Ember István Az additív gyártástechnológia térnyerésének munkavédelmi kérdései	91
Lajtos Luca, Vég Róbert Litofán technológia 3D-nyomtatással történő alkalmazása és annak lehetséges katonai vonatkozásai	107
Jasztrab Péter János Az elsötétítés biztonsági aspektusai Magyarországon	121
Almási Csaba, Cimer Zsolt, Kátai-Urbán Lajos Közúti veszélyesáru-szállítási káresemények vizsgálata	153

Balla Tibor,¹ Padányi József²

Műszaki kiválóságok: Vitéz Czetz Alfonz tábornok

Engineer Geniuses: General Alfonz Czetz

Czetz Alfonz katonai pályafutását szokványosnak is nevezhetnénk, hiszen nagyobb zökkenők nélkül haladt előre. Pedig olyan helyeken és időkben kellett helytállnia, mint az első világháború hadszínterei és az azt követő zavaros időszak. Árkásként és műszaki tisztként kiemelkedő tehetséggel végezte munkáját hazája javára. Elsősorban az út- és hidépítés volt a szakterülete. Épített tábori erődítéseket, továbbá folytatott aknaharcot az első világháború orosz, román és olasz hadszínterén. Kiemelkedő szakmai felkészültsége és hazája iránti rendíthetetlen hűsége emelte egyre magasabb beosztásokba.

Kulcsszavak: útépités, hidépítés, első világháború, orosz hadszíntér, román hadszíntér, olasz hadszíntér

The military career of Alfonz Czetz may be deemed ordinary as he was promoted through the ranks without major difficulties, even if he had to serve in such difficult times as the various theaters of the First World War and turbulent times that followed. Both as a sapper and as a military engineer, he showed excellent professional skills in the service of his country. His main field of expertise was road and bridge construction, yet he also worked on field fortifications and fought in mine warfare at the Russian, Romanian and Italian Theaters of the First World War. His military expertise and unwavering loyalty for his nation elevated him to ever higher ranks.

Keywords: road building, bridge building, World War I, Eastern Front, Russian Theatre, 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

Czetz Alfonz (1. kép) 1882. június 19-én született Bécsben, Czetz Emil és Pichinger Szerafin gyermekeként, római katolikus vallású családban. A kor szokásainak megfelelően megnősült. 1912. április 29-én Fets Margitot vette nőül Budapesten, aki 1964. május 28-án hunyt el a magyar fővárosban. Házasságából három gyermeke született: 1913. január 28-án Emil, 1919. október 15-én Lívia, majd később Sándor.

Az Osztrák–Magyar Monarchiában két leggyakrabban használt nyelven, magyarul és németül beszélt és írt. Sikeres császári és királyi katonai alreáliskolai és katonai főreáliskolai tanulmányok után a császári és királyi Műszaki Katonai Akadémiát végezte Bécsben.³



1. kép: Czetz Alfonz vezérőrnagy

Forrás: JACOBI 1938: 539.

Pályafutása

Katonatiszti pályafutását 1903. augusztus 18-án kezdte hadnagyként a császári és királyi 15. utászászlóalj 5. századában, Klosterneuburgban (2. kép).



2. kép: Az utászaktanya Klosterneuburgban, 1896-ban

Forrás: HEINDL 2023

³ 1717-ben alapították az első „hadmérnöki akadémiát”, amely többszöri névváltoztatás (Ingenieur-Schule, Ingenieur-Akademie, Genie-Akademie) és szervezeti átalakulás után, ebben az időszakban Műszaki Katonai Akadémia (Technische Militär-Akademie) néven működött Bécsben (Mödling). SÁGVÁRI 2017: 39.

1904. november 1-jén áthelyezték a budapesti császári és királyi 7. utászzászlóaljba. Akkoriban (1905–1906-ban) a magyar főváros II. kerületében a Lipthay út 5. alatt lakott. 1908. december 1-jén a császári és királyi utászfelügyelő segéd tisztje lett Budapesten, 1909. május 1-jén pedig főhadnaggyá nevezték ki beosztásában. 1909. december 1-jétől a császári és királyi 7. utászzászlóalj 3. századában teljesített szolgálatot Budapesten, majd 1911. március 1-jétől alakulata 5. századában szolgált Trebinjében.

1912. október 1-jén áthelyezték a császári és királyi 4. árkászzászlóaljba, ahol először a 3. században, majd 1912. december 16-tól az 1. században folytatta pályafutását Villachban. 1914. július 28-án pedig áthelyezték alakulata 3. századához, amelynek parancsnokságát is elnyerte (1. táblázat). A hadvezetést az ösztönözte az átszervezésre – azaz az utász- és árkászfeladatok szétválasztására szervezetileg is –, hogy a harceljárás és a technikai eszközök fejlődése mélyebb szakosodást igényelt. 1912-ben a 15 utászzászlóaljból 8 utászzászlóaljat szerveztek, egyenként 4 (később 5) századdal és 1 folyamiaknász-kerettel a pozsonyi zászlóaljnál. Létrehoztak továbbá 14 árkászzászlóaljat, egyenként 3 századdal és 1 hídépítő zászlóalj (Brücken-Bataillon) keretet. Az újonnan fölállított 8 utászzászlóaljból 3, az árkászzászlóaljakból pedig 6 Magyarországról kapta a kiegészítést.

1. táblázat: Az árkászzászlóaljak 1912 és 1914 között

Zászlóalj	Törzs/pótszázad	Hadkiegészítés területe	Parancsnok	Előd alakulatok
1.	Krakkó	I. hadtest	Reimer, Vincenz őrnagy	9. utászzászlóalj 1–3. századából
2.	Krems	II. hadtest	Herkner, Rudolf őrnagy	5. utászzászlóalj 1–3. századából
3.	Görz/Pettau	III. hadtest	Maschek, Leo őrnagy	15. utászzászlóalj 5. és az 1. utászzászlóalj 3. és 4. századából
4.	Villach/Budapest	IV. hadtest	1912–1913 Rükauß, Karl őrnagy, 1914. Wagner Ferenc őrnagy	4. utászzászlóalj 4. és 5., illetve a 7. zászlóalj 4. és 5. századából
5.	Komárom	V. hadtest	Jobst v. Rupprecht, Friedrich őrnagy	1. zászlóalj 5. és a 13. zászlóalj 1., 4. és 5. századából
6.	Pola/Komárom	VI. hadtest	1912. Gejbic-Marusic, Markus őrnagy 1913–14. Müller, Carl őrnagy	13. zászlóalj 1–3. századából
7.	Szarajevó/Szeged	VII., XII. és XV. hadtest	Conrad, Rudolf őrnagy	12. zászlóalj 4. és 5., a 14. zászlóalj 5. századából
8.	Rovereto/Prága	VIII. hadtest	Schmidt, Franz alezredes	3. zászlóalj 1., 2., 3. századából
9.	Riva/Theresienstadt	IX. hadtest	Lichtblau, Joseph őrnagy	3., 6. és 8. zászlóalj 5. századából
10.	Przemysl	X. hadtest	Hrevkovsky, Joseph őrnagy	9. zászlóalj 4. és 5.; a 10. zászlóalj 5. századából
11.	Lemberg	XI. hadtest	Haluska, Hugo alezredes	11. zászlóalj 1., 2. és 5. századából
12.	Gyulaféhérvár	XII. hadtest	1912. Chitik, Viktor őrnagy, 1913. Dvorak, Zdenko őrnagy	12. zászlóalj 1. 2. és 3. századából
13.	Eszék	XIII. hadtest	1912. Lehmayr, Alexander őrnagy, 1913. Jenkner, Otto őrnagy	4. zászlóalj 1., 2. és 3. századából
14.	Linz, S. Cristoforo, Trient	XIV. hadtest	Korb, Ferdinand őrnagy	2. zászlóalj 5., a 3. zászlóalj 4. és az 5. zászlóalj 4. és 5. századából

Forrás: a szerzők szerkesztése SÁGVÁRI 2017: 52. alapján

Sajnos nemcsak előremutató döntések születtek ebben az időben a műszaki csapatok szempontjából, hanem téves intézkedések is. 1917. december 15-én, a háború kritikus időszakában – nem eléggé átgondolt módon – az utászokat és árkászokat úgy szervezték át, hogy egyesített árkász- (Sappeur) csapatot létesítettek. Eltekintve attól, hogy ezzel a céltalan, csak zavart és elkedvetlenedést okozó átszervezéssel a csapathagyományokat is figyelmen kívül hagyták, sőt megsértették, egy olyan műszaki csapattípust állítottak fel, amelynek nem volt előképe. Új parancsnok kinevezésekor mindig meg kellett vizsgálni, hogy előtte utász- vagy árkásztapasztalatokat szerzett-e. Hogy az utászok és árkászok egyesítésének ez a gondolata hová vezetett, azt az 1918-as Piave-átkelés mutatta meg, ahová olyan árkászszászadokat osztottak be, akiknek a vízen járás teljesen idegen volt.⁴

Az első világháborúban

Czetz Alfonzot az első világháború kitörésének pillanatában, 1914. augusztus 1-jén századossá nevezték ki.⁵ A nagy háború több hadszínterén is harcolt, illetve támogatta a többi fegyvernem védelmi vagy támadó tevékenységét. 1914 őszén századával az orosz hadszínterén, a krakkói várban és annak környékén erődítési, hídépítési és egyéb műszaki munkálatokat végzett. A Kárpátokban 1914–15 telén zajlott harcok során erődítési, az 1915. május 2-án lezajlott gorlicei áttörést követő osztrák–magyar offenzíva idején pedig út- és hídépítési tevékenységet végzett a császári és királyi 32. gyaloghadosztály, valamint a 13. császári–királyi lövészhadosztály kötelékében. Kiemelt jelentősége volt ezeknek a műszaki feladatoknak, hiszen a mozgásszabadság megteremtése és fenntartása egy támadó hadműveletben a siker egyik kulcsa.

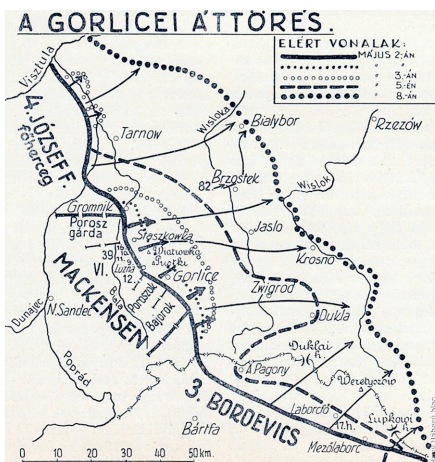
Maga az áttörés a világháború sikeres mozzanata a Monarchia hadereje szempontjából. Az áttörésben a Monarchia haderejéből közvetlenül a német 11. hadseregnek alárendelt VI. hadtest vett részt, amelynek parancsnoka ebben az időszakban Artur Arz von Straussenburg altábornagy volt. Ő így látta az áttörést:

„Elrendeltem – írja emlékirataiban –, hogy a hadtest egész tüzésége koncentrált tömegtűzzel fedje le a Pustki hegyet. Addig soha sem látott sűrűségű, szinte mindent törmelékké változtató lövedékzáró zúdult az orosz állásokra. Hatalmas füst- és porfellegek emelkedtek, és a Pustki hamarosan eltűnt a szemünk elől; a mennydörgő robajban az volt az ember benyomása, hogy egy működő vulkán van előtte. Akkoriban nekünk osztrákoknak – számbelileg oly gyenge és legtöbbször municióhiánnyal küszködő tüzéségünkkel – ez még új volt. A feszültség a tetőfokára hágott bennünk, amikor pontban tíz órakor a rohamállásokból a gyalogság előretört. Gyorsan haladva hamarosan eltűnt a porban és füstben. Vajon sikerült? Mindenki ezt kérdezte. Aztán a délnyugati lejtőn, ahol a füst kezdett elhúzódni, előbb egyes emberek majd egész

⁴ JACOBI 1938: 2.

⁵ HM HIM Hadtörténelmi Levéltár, HM Felülvizsgálati iratok 85. doboz.

sorok kezdtek lefelé sietni. Úgy látszott, hogy a támadás nem sikerült. Ám a visszaözlők sorai egyre sűrűsödtek, tömeggé torlódtak, mely nagyobb lett, mint amelyet a támadásnál bevetettünk – most már világosan felismertük: a lejtőn lávaként visszaözlő tömeg – oroszokból áll. Hadifoglyok ezrei, akik szerencsésnek tartották magukat, amiért a pokolból megmenekültek. A hegy a miénk volt – az első lyuk az ellenséges álláson.”⁶



3. kép: A gorlicei áttörés vázlata
 Forrás: DOROMBY–REÉ 1939: 226.

Czetz Alfonz a 32. hadosztálynál Krakowice és Putnik között aknaharcot irányított. 1915 júniusában Kuthenicénél megsebesült, és gyógyulása után, 1916 augusztusáig hátországi beosztásban volt. 1915. október 16-án áthelyezték a császári és királyi 4. árkászszázalaj pótszázadához. 1916 augusztusa és decembere között a románok által fenyegetett Erdélyben tevékenykedett. 1916 utolsó hónapjában a harctéren megszervezte a 9/7. árkászszázadot, s annak parancsnokaként volt részese a román hadszíntéren folytatott küzdelemnek. Századával részt vett a Románia elleni hadjáratban, Bukarest elfoglalásában. Részese volt a császári és királyi 145. gyalogdandár védőállásai kiépítésének a Szeret folyó melletti harcokban, a Putna folyó hídjai sorozatos helyreállításának és a romániai tartós harcállások kiépítésének. 1918. február 1-jén a császári és királyi 32. árkászszázalaj állományába került. 1918 májusától a császári és királyi 7. lovashadosztály alárendeltségében tevékenykedett alakulatával Ukrajnában, lerombolt utak és hidak helyreállításában, alagutak és utak építésében vett részt. 1918 augusztusában a császári és királyi 15. árkászszázalaj parancsnokává nevezték ki, és e beosztást látta el a világháború végéig az olasz hadszíntéren.⁷

⁶ POLLMANN 2015.

⁷ JACOBI 1938: 504.

A világháború után

1918. november–decemberében a budapesti árkászászlóalj parancsnoka volt. 1920. március 6-án áthelyezték a budapesti egyesített felszámoló árkász pótkerettől a miskolci honvéd utászászlóaljhoz. 1920. március 9-től a miskolci honvéd utászászlóalj parancsnokaként tevékenykedett, szolgálati helye Budapesten a Vilmos főherceg laktanyában volt. 1920. április 3-án pedig őrnagy kinevezést kapott.

1921. február 1-jétől a budapesti és a miskolci utászászlóalj összevonásával létrejött budapesti utászászlóalj (1921. május 30-tól az alakulat megnevezése: magyar királyi 1. honvéd utászászlóalj) törzsében szolgált. 1922. január 25-én alezredessé nevezték ki beosztásában. 1922. június 15-én tanácsnokká nevezték ki a vallás és közoktatási minisztérium XIV. osztályán Budapesten, egyidejűleg áthelyezték a magyar királyi 1. honvéd utászászlóaljhoz a fővárosba, ahol az anyagkezelő hivatal főnökeként ténykedett. 1922. július 22-én a trianoni békeszerződés rendelkezései következtében nyugállományba helyezték, majd 1923. január 1-jén visszahelyezték tényleges állományba. 1923. június 1-jén áthelyezték a budapesti Honvédelmi Minisztérium 3. osztályára. 1925. július 1-jén tanácsnokként a Honvédelmi Minisztérium 1. osztályának állományából áthelyezték a létszám feletti állományába. 1927. február 1-jén a Külügyminisztérium XIV. osztálya „B” kiegészítő alkalmazású állományába került, s egyúttal áthelyezték a 3. utászászlóaljhoz, az egyesített honvéd hidászszakaszokhoz történt egyidejű tartós vezénylés mellett. 1927. május 10-től 1927. szeptember 15-ig tartóan vezényelték a Belügyminisztérium VI. Ruisk II. osztályához. Közben 1927. június 1-jén áthelyezték a 3. honvéd utászászlóaljtól a Külügyminisztérium XIV. „B” egyesített honvéd hidászszakaszok kiegészítő alkalmazású létszám feletti állományába. 1927. szeptember 1-jén tanácsnokként áthelyezték a budapesti magyar királyi 1. honvéd vegyesdandár-parancsnokság állományába. 1927. november 1-jén főtanácsnoki kinevezést kapott. 1928. július 1-jén áthelyezték a budapesti 1. honvéd vegyesdandár Pénzügyminisztérium számvivőség kirendeltségtől az 1. honvéd vegyesdandár „B” állományába. Akkoriban a II. kerületi Fazekas utca 12. alatt élt a fővárosban. 1933. október 18-án ezredessé és a magyar királyi 1. honvéd vegyesdandár műszaki parancsnokává nevezték ki Budapesten, amely beosztást 1938. április 30-ig látta el. 1935. november 1-jén tábornokká (a vezérőrnagy rendfokozat korabeli megnevezése) nevezte ki az ország kormányzója.⁸

Ebből az időszakból találtunk egy feljegyzést, amelyben katonai szerepvállalásáról írnak. 1937-ben jeles diplomáciai esemény zajlott a fővárosban, hiszen III. Viktor Emánuel olasz király vendégeskedett hazánkban. A tiszteletére rendezett díszszemlén, idézzük: „... végül gépkocsizó utászalakulatok vonulnak fel. Vitéz Czetz Alfonz tábornok vezetésével gördülő alvázra szerelt motorcsónakok, pontonok és fényszórók alkotják ezt a csoportot...”⁹

⁸ HM HIM Hadtörténelmi Levéltár, HM Felülvizsgálati iratok 85. doboz.

⁹ Díszmenet! Fejedelmi pompával tisztelgett... 1937: 5.

Azt a tisztii csoportot is ő vezette, amely az olasz külügyminiszter, Ciano gróf látogatásakor tisztelgett a rákoskeresztúri, hősi halált halt olasz katonák emléke előtt.¹⁰

1938. június 1-jén egészségügyi okokból szolgálatképtelenné nyilvánították, majd szabadságon tartózkodott. Az 1915-ben az orosz hadszíntéren golyó által a jobb lábszárán elszenvedett sebesülés következtében ugyanis 1917 óta a derekában, ízületeiben fájdalmat érzett.¹¹ 1938. augusztus 1-jén nyugállományba helyezték, utána Budapest I. kerületében lakott. Nyugdíja 1000 pengőt tett ki, 1936-tól a budapesti II. kerület Ilona út 8. földszint 1. alatt lakott. 1950-ben hunyt el.¹²

Elismerései, kitüntetései

Szakmai tehetségét, katonai erényeit számos osztrák–magyar, illetve több magyar kitüntetés adományozásával is elismerték. 1908. december 2-ától a Katonai Jubileumi Kereszt, 1915. május 7-étől a Katonai Érdemkereszt III. osztálya hadidíszítménnyel (1917. január 9-től kardokkal), 1915. augusztus 7-étől a Bronz Katonai Érdemérem (később kardokkal), 1917. május 3-ától az Ezüst Katonai Érdemérem kardokkal, 1917. november 27-től a Károly Csapatkereszt, 1918. május 5-től az Osztrák Császári Vaskorona Rend III. osztálya hadidíszítménnyel és kardokkal, 1920. október 29-től a Sebesültek Érme, szalagján egy sávval, 1923. augusztus 18-ától a Tiszti Katonai Szolgálati Jel III. osztálya, 1928. június 16-ától a kormányzói dicsérő elismerés látható jelét képező Magyar Koronás Bronzérem, 1930. február 8-tól a Magyar Háborús Emlékérem kardokkal, sisakkal, 1933. augusztus 18-tól a Tiszti Katonai Szolgálati Jel II. osztálya, 1934. december 12-től a Magyar Érdemkereszt II. osztálya, 1943. szeptember 16-tól pedig a Nemzetvédelmi Kereszt kitüntetések viselhetette. A külföldi kitüntetések közül 1917. március 29-től a Német (Porosz) Vaskereszt II. osztályának birtokosa volt.

Befejezés

1937. március 17-től vitézi címet viselt. 1938. május 23-án Székesfehérváron avatták vitézzé, 1902 társával együtt¹³ (4. kép).

¹⁰ Gróf Ciano látogatása az olasz hősi temetőben 1936: 3.

¹¹ HM HIM Hadtörténelmi Levéltár, HM Felülvizsgálati iratok 85. doboz.

¹² HM HIM Hadtörténelmi Levéltár, HM 4. osztály 1941.

¹³ HM HIM Hadtörténelmi Levéltár, HM Felülvizsgálati iratok 85. doboz.



4. kép: A vitézek avatása 1938-ban

Forrás: Siklósi Gyula Várostartörténeti Kutatóközpont 2020

Éz volt az utolsó nagyszabású, ünnepélyes, ilyen jellegű ceremónia. Érdemes megemlíteni azt, hogy ekkor helyezték el az alapkövét a Vitézi Székháznak is. A Schmidl Ferenc tervei szerint, 1940-ben felépült Vitézi Székház nagytermét Aba Novák Vilmos által készített falfestmény díszítette, míg kívül impozáns kőszobrot kapott. Az Ohmann Béla által megálmodott és kivitelezett Magyar Vitéz a mai napig viták keresztútjében áll.¹⁴

Nincs tudomásunk arról, hogy bármilyen írásművet hagyott volna az utókorra. 1939 és 1944 között több magyar vállalat igazgatótanácsában foglalt helyet, köztük a Fonálkészítő Rt.,¹⁵ az Abádszalóki Gőzfűrészes és Gőzmalom Rt.,¹⁶ az Oláh Sándor Textiláru-kereskedő és Hímzőgyár Rt.,¹⁷ a Talpfa-, Bányafa- és Tűzifakereskedelmi Rt.,¹⁸ a Gardenia Csipkefüggöny és Szövőgyár Rt.,¹⁹ a Fonalkikészítő Rt.²⁰ és a Márer Benő és Társa Faipari és Fakereskedelmi Rt.²¹ szerepel.

Felhasznált irodalom

Díszmenet! Fejedelmi pompával tisztelgett a honvédség III. Viktor Emánuel előtt (1937). *8 órai ujság*, 1937. május 21. Online: https://adt.arcanum.com/hu/view/8OraiUjsag_1937_05/?query=czetz-+alfonz&pg=196&layout=s

¹⁴ A vita lényege, hogy egyesek szerint a szobor Zrínyi Miklóst ábrázolja, így az ő nevét kellene viselnie, míg mások – így a jelenlegi városvezetés is – ragaszkodik a Magyar Vitéz megnevezéshez. Részletesen lásd NÉGYESI 2021.

¹⁵ Nagy Magyar Compass 1942: 430.

¹⁶ Nagy Magyar Compass 1942: 205.

¹⁷ Nagy Magyar Compass 1942: 459.

¹⁸ Nagy Magyar Compass 1942: 198.

¹⁹ Központi Értesítő 1944: 1084.

²⁰ Központi Értesítő 1944: 461.

²¹ *Gazdasági, Pénzügyi és tőzsdei kompasz 1939–1940: 470.*

- DOROMBY József – REÉ László szerk. (1939): *A magyar gyalogság. A magyar gyalogos katona története*. Budapest: Reé László Könyvkiadó- és Terjesztővállalat.
- Gazdasági, Pénzügyi és Tőzsdei kompassz (1939–1940): 15. évfolyam 3–4. kötet (1939)*. Pesti Tőzsde Kiadása.
- Gróf Ciano látogatása az olasz hősi temetőben (1936). *Az Est*, 1936. november 15. Online: https://adt.arcanum.com/hu/view/AzEst_1936_11/?query=czetz+alfonz&pg=176&layout=s
- HEINDL, Victoria (2023): *Damals bei uns in Klosterneuburg*. 2023. június 11. Online: <https://m.noen.at/klosterneuburg/pionierkaserne-damals-bei-uns-in-klosterneuburg-370457608>
- HM HIM Hadtörténelmi Levéltár, HM Felülvizsgálati iratok 85. doboz.
- HM HIM Hadtörténelmi Levéltár, HM 4. osztály 1941.
- JACOBI Ágost szerk. (1938): *Magyar műszaki parancsnokságok, csapatok és alakulatok a világháborúban. 1914–1918*. Budapest: Közlekedési Nyomda Kft.
- Központi Értesítő 1944. 69. évfolyam 2. félév, 33. szám. Online: https://adt.arcanum.com/hu/view/Kozponti_Ertesito_1944_2/?query=czetz+alfonz&pg=253&layout=s
- Nagy Magyar Compass (1942): *Iparos-részvénytársulatok*. Online: https://adt.arcanum.com/hu/view/MagyarCompass_1942_2/?query=czetz+alfonz&pg=429&layout=s
- NÉGYESI Lajos (2021): *Kell-e nekünk Zrínyi Miklós emléke? Ohmann Béla székesfehérvári Zrínyi szobra. Hadtudomány*, 31(4), 135–152. Online: <https://doi.org/10.17047/HADTUD.2021.31.4.135>
- POLLMANN Ferenc (2015): *A gorlicei áttörés. nagyhaboru.blog.hu*, 2015. május 6. Online: https://nagyhaboru.blog.hu/2015/05/06/a_gorlicei_attores
- SÁGVÁRI György (2017): *Az Osztrák–Magyar Monarchia haderejének műszaki csapatai a Nagy Háború előestéjén. Szervezet, külsőségek – kultúrtörténeti kitekintéssel*. In ZÁVODI Szilvia (szerk.): *A Hadtörténelmi Múzeum Értesítője 17*. Acta Musei Militaris in Hungaria. Budapest: Hadtörténelmi Múzeum, 39–78. Online: <https://real-j.mtak.hu/20309/1/a-hadtorteneti-muzeum-ertesito-je-17-acta-muse.pdf>
- Siklósi Gyula Várostarténelmi Kutatóközpont (2020): *82 éve ezen a napon volt vitézavatás Székesfehérváron*. 2020. május 22. Online: www.szekesfehervar.hu/82-eve-ezen-a-napon-volt-vitezavatas-szekesfehervaron

István Ember¹ 

Effectivity Experiment of PA-12 Shaped Charge Liners

The application of 3D printing in blasting technology is a significantly under-researched area worldwide. Despite this, low-density materials hold importance in certain subfields among which cumulative charges stand out. In my research, I examine the efficiency of cones made from PA-12 material using powder bed fusion technology. During the tests, I demonstrate that in the case of this material, the component preventing backflow has a significant impact on perforation performance and cavity formation. I analyse and compare the results of a total of six charges, with three of each type, to verify my hypothesis regarding the aforementioned component.

Keywords: additive, 3D printing, blasting technology, cumulative, charge

Introduction

3D printing or additive manufacturing is a widely used technology today, found in individual households for hobby purposes as well as having established its place in the industry. It holds an invaluable opportunity for researchers, because it makes the production of prototypes incredibly inexpensive. However, the field has not yet reached its ultimate limits.

CAD² design and additive manufacturing are technically intertwined, although there are (mostly online) options that make designing objects significantly easier for amateur users. In research and industrial fields, however, this design process is carried out by engineers at high quality and optimised for the specific additive technology, enabling the realisation of structures composed of very complex components.³ The next step is generative design, which can further enhance the efficient use of the technology. Today, our parts can be produced in build volumes as large as 1 cubic meter, with some advanced devices capable of building layers as thin as 20 micrometres.⁴

¹ Lecturer, Ludovika University of Public Service, Faculty of Military Science and Officer Training Department of Operations and Support, e-mail: ember.istvan@uni-nke.hu

² Computer-Aided Design.

³ GYARMATI et al. 2022: 125.

⁴ KAJNER et al. 2023: 4.

The widespread application and possibilities make it clear that we should also explore the potential uses in the military context, in line with the main research directions of military science⁵ such as climate change, disaster relief operations⁶ and applications of cutting-edge technologies. In this regard, the manufacturing of blasting technology components could be an area worth investigating, which may also have civilian implications in the future.

Focusing on this area, I chose cumulative charges as a potential research direction. Whereas cumulative liners usually emphasise high-density materials such as copper, I chose low-density materials, specifically polymers, as my main focus. Although these materials significantly lag behind copper in terms of perforation capability, immense penetration is not always necessary for the target object. In certain explosive ordnance disposal tasks,⁷ it can be particularly advantageous if the charge only pierces the expected material thickness.

In my research I have examined various technologies and materials. In this testing phase I will investigate nylon cumulative cones produced using powder bed fusion technology. During the blasts, I will detonate a total of six charges in two types. All their parameters will be identical except the backflow preventer. This component maintains the stand-off distance between the target object and the liner. The truncated cone has a hollow design to ensure that nothing obstructs the formation of the cumulative jet.

My objective is to examine the impact of the aforementioned component on efficiency through three detonations each. I hypothesise that the charges without the component will underperform in terms of efficiency and the geometry of the resulting cavities compared to the other variant.

Selective laser sintering

The development of additive manufacturing or 3D printing is progressing at a rapid pace. Improved, enhanced and even robotics-integrated versions of prevalent technologies are continuously emerging. This constant change brings many advantages but also significant challenges in organising the field, so my writing can only provide a limited overview of these advancements.

The technology I plan to introduce is Selective Laser Sintering (SLS). This technology is also commonly referred to as powder bed printing (Figure 1), a name that more descriptively illustrates the manufacturing process. Compared to the widely used fused deposition modelling/fused filament fabrication (FDM/FFF) technology, the range of usable materials is significantly smaller. Typically, some form of polyamide (PA) serves as the base material, but polypropylene (PP) can also be used for making lighter parts, and thermoplastic polyurethane (TPU) may be utilised when flexibility is an important factor.

⁵ BODA et al. 2016.

⁶ PADÁNYI 2023: 101–119.

⁷ E.g. some improvised explosive device disposal tasks. KOVÁCS 2012.

First, the powder material is transferred from a container to the build area, where it is spread in thin layers.⁸ The evenly spread, smoothed powder surface is illuminated by a laser at the necessary points, where it solidifies and forms a layer of solid material. After the tray in the build area moves downward, a new thin layer of material is applied, which is also solidified by the laser. The process and the material require a consistently high and uniform temperature, which is a crucial element for the quality of the parts.⁹



Figure 1: Build chamber of Formlabs Fuse 1 SLS printer

Source: photographed by the author

Polymers in SLS technology – Additive manufacturing

The Faculty of Military Science and Officer Training (MSOT) at the Ludovika University of Public Service (LUPS) also possesses an SLS technology 3D printer. This is a Fuse 1 device manufactured by Formlabs, for which five materials are available, two of which contain fibre reinforcement. The composite materials are Nylon 11 CF (micro carbon fibre) and Nylon 12 GF (glass fibre). The conventional polymers are Nylon 11, Nylon 12, Polypropylene Powder, and an elastomer, TPU 90A Powder. The unique feature of SLS technology is that only one type of material can be used per machine. Switching to a different material is not impossible, but costly, and the quality of the products is questionable, as removing the powder from the internal parts and storage units is almost an impossible task.

As shown in Figure 2, the modulus of the carbon fibre polyamide is up to three times higher, and the modulus of the glass fibre material nearly doubles compared to the fibre-free powder.

⁸ Typically, layers with a thickness between 50 and 200 micrometres are formed.

⁹ GÁL-NÉMETH 2019: 234.

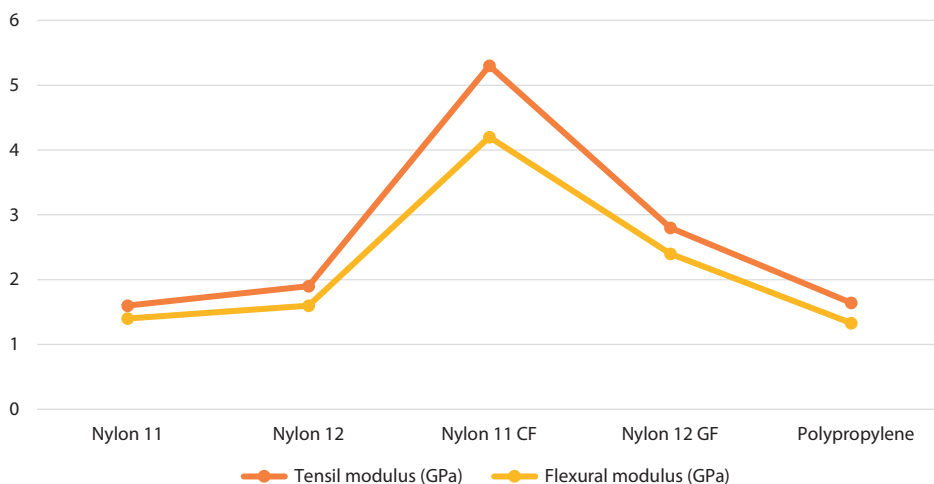


Figure 2: Modulus rates of Formlabs materials

Source: compiled by the author based on <https://formlabs.com/store/materials/nylon-12-gf-powder/>

The significance of carbon fibre is also evident when examining strength values (Figure 3). The flexural strength of carbon fibre-reinforced Nylon 11 is twice as high, and its tensile strength also significantly increases compared to fibre-free polyamide.

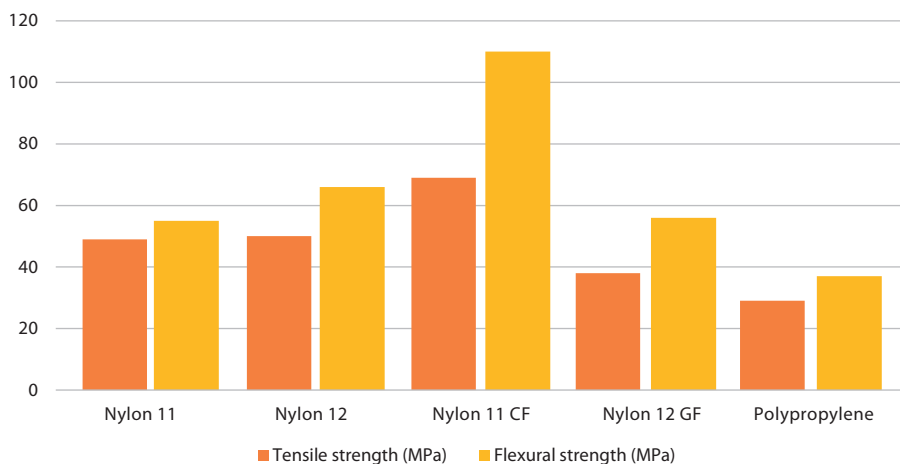


Figure 3: Tensile rates of Formlabs materials

Source: compiled by the author based on <https://formlabs.com/store/materials/nylon-12-gf-powder/>

If the goal is to manufacture lightweight, high thermal stability, and repeated force-resistant parts, the best choice is the carbon fibre mixed Nylon 11 powder. If thermal stability and heat resistance are critical factors, the glass fibre mixed Nylon 12 is the advantageous solution.¹⁰

Elongation is also an important property. In this case, fibre reinforcement does not meet the expectations. Nylon 11 and Polypropylene materials show particularly good values in this area (Figure 4).

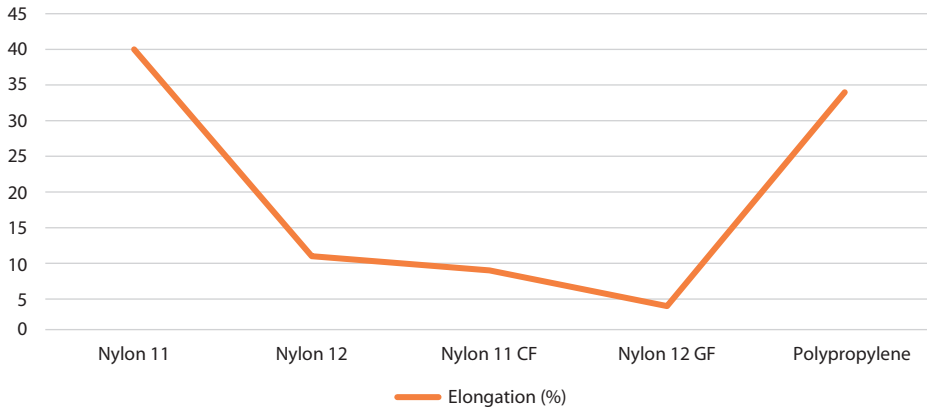


Figure 4: Elongation of Formlabs materials

Source: compiled by the author based on <https://formlabs.com/store/materials/nylon-12-gf-powder/>

Manufacturing of shaped charges

The designs for all parts were created using FreeCAD 0.20, a free, downloadable and open-source application. I already have experience with the software used for this purpose.¹¹ The dimensions of the shaped charges were determined using several methods,¹² applying my own parameters¹³ that have proven effective in multiple tests.¹⁴ During the design, I considered the manufacturing characteristics, although in our case, supports were not significant because the SLS technology does not require them, allowing for greater design freedom.

The completed electronic forms were virtually arranged in the build area using the cloud-based PreForm software. This preparatory application has the significant advantage of not requiring deep material science or manufacturing technology knowledge to operate. Various parameters are pre-set, and the user only needs to focus on filling the space. This is particularly important for material economy. While the application can optimise this for us, I did not use this feature because it changes the orientation of the objects in space. This

¹⁰ See: https://formlabs.com/materials/?print_technology%5B0%5D=SLS

¹¹ ÁDÁM-EMBER 2022a; ÁDÁM-EMBER 2022b.

¹² EMBER 2022a.

¹³ LUKÁCS 1992: 29–40.

¹⁴ EMBER 2022b; EMBER 2022c; EMBER 2022d; EMBER 2022e.

likely would not cause significant differences in the blast results, but I insisted on identical arrangements to ensure comparable results from all aspects.

The material for the cumulative cones used in the investigations was always Nylon 12 powder, and they were printed on the same printer with identical orientation. The printing process encountered no issues or stoppages. I successfully removed the finished products and cleaned them of residual powder. I paid special attention to the inner cavity of the cones, where residual material tends to adhere strongly near the tip. Various plastic-bristle brushes were used for cleaning to avoid mechanical damage.

In summary, the parts were manufactured relatively quickly and easily. The only difficulty was the cleaning process, due to the necessary use of protective equipment. This is, of course, an unavoidable part of the technology, as the powders require, among other precautions, the use of an appropriate mask.

Preparation for blasting

The tests were carried out with the assistance of the demolition soldiers of the Hungarian Defence Forces (HDF) 1st Explosive Ordnance Disposal and River Guard Regiment (HDF 1st EOD&RG Reg.) in Táborfalva, at the designated blasting area of the HDF.



Figure 5: Types of exploded charges
Source: photographed by the author

During the tests more charges were detonated than those described in this study. Multiple blasting series were conducted; however, the electrical network was configured in a series connection using the standardised electric detonators and wires of the HDF. Due to the required performance of the explosive placed in the charge housing, a brisant military type¹⁵ was chosen, although an industrial version¹⁶ could have been conceivable as well. An interesting question is how insensitive explosives currently under development for military use

¹⁵ LUKÁCS 2017: 26.

¹⁶ DARUKA 2016: 35–40.

would behave under similar conditions?¹⁷ Regarding properties, a plastic or liquid type, which could be binary or multi-component, would be preferable.¹⁸ This is why I chose Semtex-H plastic explosive. A significant number of fragments were not expected due to the special implementation of the blasting.

We dug pits in the ground, each with a base area of 30 × 30 cm and a depth of 50 cm, where the target objects with the attached charges were placed. The pits were spaced far enough apart so that the detonation shockwave and other effects would not influence the investigation. In practice, this meant a distance of approximately 3 metres. The detailed parameters of the configured charges (Figure 5) can be seen in Table 1.

Table 1: Data of exploded charges

No.	Type	Cone weight (g)	Explosive weight (g)	Target material
1	Cone: 20 mm, PA-12, 60° Charge body: 40 mm stand-off, backflow preventer	2.9	33	30 mm wide, steel disc (sawed from a single steel pole)
2				
3				
4	Cone: 20 mm, PA-12, 60° Charge body: 40 mm stand-off, without backflow preventer			
5				
6				

Source: compiled by the author

The process of preparing the charges:

1. Assembling the charge housings
2. Filling the charges with Semtex-H explosive
3. Creating the space for the detonator
4. Attaching the charges to the target objects with superglue
5. Placing the detonator support cap
6. Inserting the secured charges into the blasting pits prepared for detonation
7. Placing the electric detonators in the charges

Results:

For the charges equipped with backflow preventers, it can be stated that the penetration fell short of my expectations. However, increasing penetration was not among the test objectives. Nevertheless, the target objects present a uniform appearance, indicating that efforts to achieve consistent design were successful. A rim is visible around the formed holes, with the maximum height from the target surface ranging between 3.5 and 3.7 mm. The upper part of the cavity is wider at the rim formation stage, followed by a relatively uniform diameter section down to the bottom of the hole. The diameter of the uniform section ranged between 12.5 and 13.3 mm. Penetration depth measured on the target objects was between 11.47 and 12.82 mm, which are also very close values.

¹⁷ DARUKA 2023: 15–18.

¹⁸ KUGYELA 2020: 58–71.

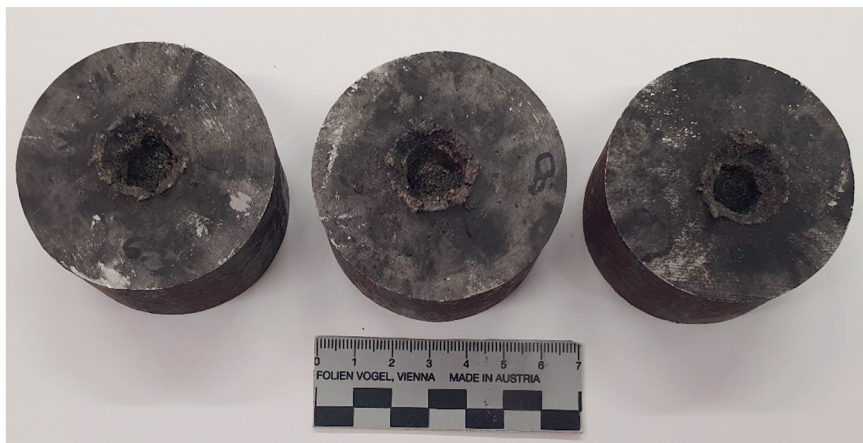


Figure 6: Target objects of charges with backflow preventer

Source: photographed by the author

The penetration of the charges made without backflow preventers was visibly significantly below expectations. Despite this, the target objects also presented a uniform appearance in this blasting series, indicating that the charges were consistently constructed. The holes formed had rims with irregular geometry. Their maximum height from the target surface ranged between 5.6 and 6 mm. The rim formation phase at the top of the cavity was not clearly identifiable. The diameter of the cavity ranged between 17.2 and 20.2 mm. Penetration depth measured on the target objects varied between 6.6 and 9.8 mm, which shows a noticeable spread.

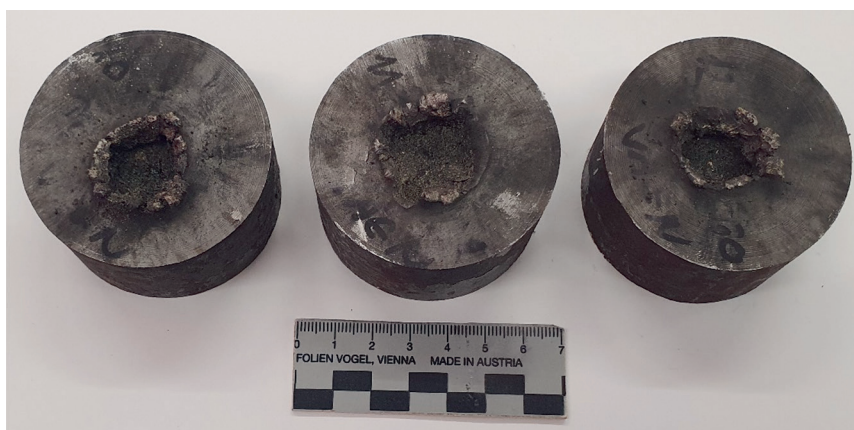


Figure 7: Target objects of charges without backflow preventer

Source: photographed by the author

Since the design of the above charges can be considered uniform, I also consider the measured results to be evaluable and acceptable. In the case of charges with backflow preventers, the target objects present a uniform appearance, which is immediately evident to an expert eye as forming a characteristic cavity. In the absence of the aforementioned component, the difference is also visible to the naked eye. The irregular cavities and significantly reduced penetration depth demonstrate that it is worth further investigating the topic and the impact of the backflow preventer on the efficiency of liners made from low-density materials.

Summary

The presented tests provide a clear visual indication, even at first glance and to the naked eye, which supports my earlier hypothesis. I achieved my objectives. I tested three charges each, which were identical in design, with the only difference being the presence of the backflow preventer.

The results confirm that the absence of the aforementioned component significantly deteriorates the cavity formation geometry and considerably reduces penetration. In the presence of the component, cones made from low-density material (nylon) exhibit significantly better efficiency. The improved penetration depth is likely due to the well-formed and guided jet, which reduces material reflection from the target, potentially impairing perforation capability.

I want to avoid presenting misleading data and drawing far-reaching conclusions on this topic. Currently, I would like to state that the backflow preventer plays a significant role in enhancing the efficiency of PA-12 material liners made using SLS technology.

My caution is justified by the fact that in other technologies, similar geometry liners can have up to 33% greater mass. This also means significantly higher density, which can seriously affect the efficiency and formation of the jet by itself. Furthermore, I should point out that different materials, or the same material manufactured by different technologies, may have different material properties, strength and elongation properties, all of which can affect the beam forming process and thus the penetration geometry.

I intend to further investigate the effectiveness of the presented component in liners produced using FDM technology and with different materials. This is because it can be assumed that the impact of the backflow preventer on efficiency will not be equally significant for all materials.

References

- ÁDÁM, Balázs – EMBER, István (2022a): Béléstestek készítésének technikai lehetőségei alacsony sűrűségű anyagból. *Műszaki Katonai Közlöny*, 32(3), 101–111. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2022.3.6>
- ÁDÁM, Balázs – EMBER, István (2022b): Kumulatív töltetházak 3D nyomtatása. *Hadmérnök*, 17(3), 35–44. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2022.3.2>

- BODA, József – BOLDIZSÁR, Gábor – KOVÁCS, László – OROSZ, Zoltán – PADÁNYI, József – RESPERGER, István – SZENES, Zoltán (2016): *A hadtudományi kutatási irányok, prioritások és témakörök*. Államtudományi Műhelytanulmányok 16. 1–23. Online: www.med.u-szeged.hu/download.php?docID=90702
- DARUKA, Norbert (2016): Robbanóanyag-ipari alapanyagok és termékek osztályozásának lehetőségei. *Műszaki Katonai Közlöny*, 26(1), 26–44. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/mkk/article/view/2187/1456>
- DARUKA, Norbert (2023): Érzéketlen robbanóanyagok I.: Célkeresztben a TNT és a Composit B kiváltása. *Műszaki Katonai Közlöny*, 33(2), 5–21. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2023.2.1>
- EMBER, István (2022a): Modern kumulatív töltet méretezésének lehetőségei. *Műszaki Katonai Közlöny*, 32(1), 5–15. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2022.1.1>
- EMBER, István (2022b): Hatásvizsgálati robbantás kumulatív töltetekkel. *Műszaki Katonai Közlöny*, 32(3), 13–23. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2022.3.2>
- EMBER, István (2022c): Modern kumulatív töltetek hatékonyságának vizsgálata. *Haditechnika*, 56(6), 15–20. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.56.6.03>
- EMBER, István (2022d): Célfeladatra készített kumulatív töltetek kialakításának vizsgálata. In SZELEI, Ildikó (ed.): *A hadtudomány aktuális kérdései 2022*. Budapest: Ludovika, 13–28.
- EMBER, István (2022e): 3D nyomtatott lyukasztó töltetek hatásvizsgálata. *Hadmérnök*, 17(4), 63–73. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2022.4.5>
- GÁL, Bence – NÉMETH, András (2019): Additív gyártástechnológiák katonai alkalmazásának vizsgálata, különös tekintettel a katonai elektronika területére. *Hadmérnök*, 14(1), 231–249. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2019.1.19>
- GYARMATI, József – HEGEDŰS, Ernő – GÁVAY, György (2022): Automata sebességváltóban alkalmazott kapcsolt bolygóművek – Wilson-váltó: Harckocsi-sebességváltó modell kialakítása 3D nyomtatással oktatási célból. *Műszaki Katonai Közlöny*, 32(3), 113–126. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2022.3.7>
- KAJNER, Gyula – BÉLTEKI, Ádám – CSEH, Martin – GERETOVSZKY Zsolt – AJTAI, Tibor – BARNA, Lilla – DELI, Mária A. – PAP, Bernadett – MARÓTI, Gergely – GALBÁCS, Gábor (2023): Design, Optimization, and Application of a 3D-Printed Polymer Sample Introduction System for the ICP-MS Analysis of Nanoparticles and Cells. *Nanomaterials*, 13(23). Online <https://doi.org/10.3390/nano13233018>
- KOVÁCS, Zoltán (2012): Az improvizált robbanóeszközök főbb típusai. *Műszaki Katonai Közlöny*, 22(2), 37–52. Online: https://mkk.uni-nke.hu/document/mkk-uni-nke-hu/2012_2_03%20IED-k%20f%C5%91bb%20t%C3%ADpusai%20-%20Kov%C3%A1cs%20Z.pdf
- KUGYELA, Lóránd (2020): A többkomponensű robbanóanyagok múltja, jelene és jövője. *Katonai Logisztika*, 28(4), 58–75. Online: <https://doi.org/10.30583/2020.4.058>
- LUKÁCS, László (1992): *A kumulatív hatás és a kumulatív töltetek méretezése*. Jegyzet a Szárazföldi Haderőnemi Fakultás műszaki hallgatói számára. Magyar Honvédség, Zrínyi Miklós Katonai Akadémia, Műszaki tanszék.
- LUKÁCS, László (2017): *Szemelvények a magyar robbantástechnika fejlődéstörténetéből, különös tekintettel a továbbfejlesztés várható irányaira és a kor új kihívásaira*. Budapest: Dialóg Campus.
- PADÁNYI, József (2023): Éghajlatváltozás, természeti katasztrófák, környezeti hatások, katonai képességek. *Hadtudomány*, 33(E-szám), 101–119. Online: <https://doi.org/10.17047/Hadtud.2023.33.E.101>

Gávay György¹ 

Honvédségi járművek kezelőszerveinek pótlása, módosítása 3D-nyomtatási technológia alkalmazásával²

Replacement and Modification of Controls for Defence Vehicles Using 3D Printing Technology

A honvédségi járművek, harcjárművek alkatrészeit, javító anyagait az alkalmazás, illetve rendszerben tartás ideje alatt az üzemeltethetőség és hadrafoghatóság érdekében biztosítani kell. A publikáció célja egy vizsgálat bemutatása, amely a katonai járművek kezelőszerveinek alkatrészpótlásával, azok módosításának lehetőségével foglalkozik, az egyik legkorszerűbb és folyamatosan fejlődő technológia, a 3D-tervezés és -nyomtatás segítségével.

Kulcsszavak: alkatrészpótlás, 3D-modellezés, 3D-nyomtatás

The spare parts and repair materials of military vehicles and combat vehicles shall be secured during their deployment or maintenance in order to ensure their operability and combat readiness. The aim of this paper is to present an investigation into the possibility of modifying and replacing military vehicle controls using one of the most advanced and constantly evolving technologies, 3D design and printing.

Keywords: component replacement, 3D modeling, 3D printing

¹ Adjunktus, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Haditechnikai Tanszék, e-mail: gavay.gyorgy@uni-nke.hu

² A cikk a TKP2021-NVA-16 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Bevezetés

A honvédségi járművek, harcjárművek alkatrészeit, javító anyagait az alkalmazás, illetve rendszerben tartás ideje alatt az üzemeltethetőség és hadrafoghatóság érdekében biztosítani kell. A haditechnikai eszközök technikai problémáit, meghibásodásait – amelyek a rendszerben tartás ideje alatt jelentkeznek – a Magyar Honvédség (MH) vagy már a rendszerbe való felvétel ideje alatt kiválasztott módon, vagy új módszerekkel kell hogy megoldja, javítsa, az üzemképesség és hadrafoghatóság visszaállításának érdekében. Ez történhet saját kapacitással vagy szerződött polgári vállalatok képességeinek igénybevételevel, esetleg műveleti területen, az ottani lehetőségeket figyelembe véve, szövetséges nemzet segítségével. Műveleti területen az előre nem tervezhető technikai problémák tartós vagy akár csak ideiglenes megoldása is magas szintű technikai felkészültséget és sok esetben kreativitást igényel, míg béketerületen az alkatrészpótlás és az ilyen jellegű logisztikai problémák könnyebben megoldhatók. Amennyiben lehetőség adódik, az új technikai megoldásokat, módszereket érdemes kipróbálni, és a megvalósíthatóságukat megvizsgálni még békekörnyezetben. Minden esetben figyelembe kell venni a javításokra és alkatrészpótlásokra vonatkozó érvényben lévő szabályzókat, de a javítási lehetőségeket érintő kutatások során a módszerek vizsgálata kísérleti jellegű alkatrészeket eredményezhet. Ezeket az alkatrészeket haditechnikai eszközökbe nem lehet beépíteni a megfelelő engedélyek nélkül.³ Műveleti területen a szükség szerinti és a körülményekhez képest elvégzett javítások, az alkatrészek helyettesítése vagy pótlása a feladatellátás érdekében történik, de a megfelelően dokumentált technikai módosítások, a későbbiekben a modernizációk, üzemfenntartási előírások átdolgozása során felhasználhatók. Ma már általánosnak mondható logisztikai probléma a 20–30 éves eszközök alkatrészellátása, mivel bármilyen jellegű használat esetén könnyen történhet alkatrész sérülés, törés, azaz az eszközök alkalmazhatóságát korlátozó, akadályozó meghibásodások kockázata megnő. A műanyag alkatrészek elöregednek, rideggé válnak, a gumi alkatrészek megrepednek, a fém alkatrészek kopnak korrodálnak, törnek.⁴

A 3D-nyomtatáson alapuló gyártási technológia mint lehetséges alternatíva

A 3D-nyomtatás már több évtizedes múltra visszatekintő additív gyártástechnológia, amely napjainkban rohamosan fejlődik. Ez a technológia alkalmas lehet:

- 1–10 mm méretű egyszerű geometriával rendelkező tárgyak (több példányban, egy időben);
- 1–500 mm méretű bonyolult geometriájú, egymásba illeszkedő, illetve üreges tárgyak;
- generatív tervezésű tárgyak;

³ A Nemzeti Közsolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar (NKE HHK) Haditechnikai Tanszék tanalvázai jó alapot nyújtanak a publikáció témáját jelentő kísérletekhez.

⁴ GÁVAY 2023: 209.

- de akár a több tízméteres nagyságú, egyenes falú műtárgyak, például épületek nyomtatására, gyártására.

A 3D-nyomatási eljárás a munkadarabot nulla helyzetből kiindulva, rétegről rétegre állítja elő, azaz a munkadarab anyagának hozzáadása és a munkadarab kialakítása azonos időben történik. Lehetőséget biztosíthat az „alkatrész az alkatrészben” konstrukciók kivitelezésére, illetve megfelelő 3D-modellező szoftver alkalmazásával generatív tervezésre. A generatív tervezés lényege, hogy az alapanyag és a teherviselő, illetve terhelte munkadarab felületeinek és részeinek a meghatározásával az optimális forma és szerkezet adható meg, ezzel jelentős alapanyag- és tömegcsökkentés érhető el. Továbbá ezzel a megoldással lehetőség van a funkcionalitáson túl az esztétikai szempontokat figyelembe vevő tervezésre is.

Az alapanyagok igen nagy változatosságot mutatnak. Az alapanyagokat a kész tárgy mechanikai, kémiai és termikus igénybevételének megfelelően kell kiválasztani, így lehetnek többek között:⁵

- gyanta alapú anyagok;
- műanyagok;
- fémek;
- kompozitok, esetleg valamilyen szálerősítésű kompozit;⁶
- speciális beton;
- élelmiszer-alapanyagok.

A 3D-nyomatási technológiák közös tulajdonsága, hogy a kész tárgy várható fizikai tulajdonságait, annak viselkedését szem előtt tartva már az alapanyag jellemzőinek kiválasztásakor, a tervezéskor ismerni kell a gyártás során történő változásokat, és természetesen annak környezetvédelmi aspektusait.⁷ Valójában ezek várható hatását előre meghatározni jelenleg nagy pontossággal nem lehet. A kísérletek dokumentálásával és a tapasztalatok feldolgozásával csökkenthető a végeredményt jelentő tárgyak anyagminőségi, felületi minőségi és méret-, illetve alakpontossági eltéréseinek mértéke.

A 3D-nyomatási technológia egyik első és legelterjedtebb alapanyaga a műanyag volt, amely a mai napig megőrizte fontos szerepét, elsősorban az alacsony gyártási költségeknek köszönhetően. Az alkalmazott műanyagok lehetnek többek között:

- PLA (politejsav, *polylactic acid*): gazdaságos alapanyag és jó az utómegmunkálható képessége, kezelőszervek számára elégséges a hőtűrése, illetve nedvességálló;
- TPLA (*tough PLA*): az ABS-hez hasonló mechanikai terhelhetőséggel rendelkezik;
- poliamidok;
- ABS (akrilonitril-butadién-sztirol);
- az előbbi alapanyagok valamelyike szén- vagy üvegszál-erősítéssel együtt alkalmazva.

⁵ EMBER-ÁDÁM 2022.

⁶ HEGEDŰS 2023: 62.

⁷ RÁKOSI et al. 2023.

Az ABS és a poliamidok a járműiparban meghatározó alapanyagok.

1. táblázat: FDM-eljárással alkalmazható alapanyagok

Funkcionális tulajdonságok	ABS	PLA	TPLA	PA	PA6
Szakítószilárdság	-	+	++	+++	++++
Ütésállóság	++	-	+	++	++
Hajlítási szilárdság	-	+	+	++	++
Hőtűrés	++	+	++	+++	+++
Nyomatási eredmény	+/-	+	++	++	++

Forrás: GÁVAY 2023: 215.

A publikáció alapját adó technológia az FFF (*fused filament fabrication*), azaz szálolvasztásos gyártás.⁸ Az FFF olyan additív eljárás, amely során a felhevített alapanyagszálat vagy -szálakat extrudálják. A nyomtatás közben az éppen nyomtatott réteget a nyomtatófej a vízszintes x és y tengely mentén való mozgással alakítja ki. A következő réteg kialakításához a munkadarabot tartó platform a z tengely mentén süllyed, vagy a nyomtatófej emelkedik a z tengely mentén. Az eljáráshoz alkalmazható alapanyagok száma magas, többféle rugalmasság, anyagminőség és szín választható.⁹

A 3D-nyomtatás katonai alkalmazásai közül az egyik legfontosabb annak műveleti területen történő felhasználása. Ilyen esetekben sokszor olyan alkatrészeket kell pótolni, amelyek normál használatból, kopásból eredő sérülése nem jellemző, így például nincs is készletezve hozzá javítóanyag, viszont egy harctéri sérülés komoly kihívások elé állítja a logisztikai ellátórendszert, adott esetben több ezer kilométerről kell leszállítani a pótalkatrészt. Az ilyen problémákra adhat választ a „digitális raktárkészlet” műveleti területen történő megvalósítása, illetve ennek alapján a 3D-nyomtatók műveleti területen való üzemeltetése.¹⁰

3D-nyomatási kutatások az NKE Hadtudományi és Honvédtiszképző Kar (HHK) Haditechnikai Tanszékén

Az NKE HHK-n több pályázati forrás lehetővé tette, hogy a karon több tanszék is 3D-nyomatási képességet alakítson ki, amelynek célja a lehető legkorszerűbb oktatási lehetőségek kiaknázása és a műszaki területet is érintő képzetek fejlesztése.¹¹

A 3D-nyomtatást jelenleg is használjuk az NKE HHK oktatási, valamint újításokhoz vezető fejlesztői munkájában.¹²

⁸ Az FFF FDM néven is ismert eljárás (*fused deposition modeling*, szálolvasztásos modellezés). Az FDM védjegyet a Stratasys vállalat bírta.

⁹ GÁVAY 2023: 212.

¹⁰ VÉGVÁRI 2023.

¹¹ DARUKA et al. 2024a; GYARMATI–HEGEDŰS–GÁVAY 2022; GYARMATI 2023.

¹² DARUKA et al. 2024b.

Az oktatási lehetőségek spektruma széles, és kiterjed:

- a hallgatók ismereteinek gyakorlati oldalú bővítésére;
- új szemléltető eszközök kialakítására, amelynek tervezésébe a hallgatókat is be lehet vonni;
- új technológiák kutatására és anyagtechnológiai ismeretek megszerzésére;
- az additív gyártástechnológia felhasználására a katonai és polgári célok elérésében (kutatás, fejlesztés, innováció, prototípusgyártás).¹³

Ezek a fejlesztések lehetővé tették az FFF-alapú műanyag és kompozit nyomtatási eljárások mellett a fém alapanyagú nyomtatásokat is. A Haditechnikai Tanszéken alkalmazott FFF-fémnyomatási technológia lehetővé teszi többféle acél-, réz- és például inconelötvetek alapanyagként való alkalmazását.

A katonai járművek kezelőszerveinek ergonómiája, kialakítása, elhasználódása

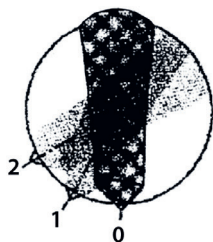
A publikáció témája katonai járművek kezelőszervei pótlásának és lehetséges fejlesztésének, módosításának vizsgálata. A kezelőszervek a munkavégzéshez (jelen esetben jármű-, illetve harcjárművezetéshez) szükséges beállító és kezelő alkatrészek, kapcsolók stb. Ezek kialakításához az emberi méreteket, nevezetesen a kéz méretét és használatát kell alapul venni.¹⁴ A kéz méretén túl fontos szerepet kap a kialakítás mellett az elhelyezés és a láthatóság, vagy éppen a látómezőből való kizárás. Az egyes alkatrészek megtervezésekor a használatukhoz szükséges testi erő, az alak- és a felületi kidolgozás is fontos szerepet játszik. Ezeket a kéz számára optimálisan kell megválasztani. Nem szabad megfeledkezni arról, hogy a katonai eszközök esetében a fokozott stresszhelyzetben meghozott rossz döntés, figyelmetlenség vagy a kiképzés nem megfelelő szintje okozhatja az eszközök kezelőszerveinek rongálódását. Ebben a publikációban két ilyen kezelőszerv, egy infravető kapcsoló és egy világításfőkapcsoló fogantyúinak pótlására és módosítására tett kísérletet, ismertet és értékelt a szerző. A vizsgálat tárgyát jelentő alkatrészek egy Mercedes Benz Unimog 1300 terepjáró tehergépkocsi tanalváz hiányzó kezelőszervei.

Az infravető kapcsoló és annak pótlására tett kísérlet

Az alkatrészpótlásra tett kísérlet első része a Mercedes Benz Unimog 1300 terepjáró tehergépkocsi infravető kapcsolófogantyújának, illetve annak módosított változatának megtervezése és additív gyártástechnológiával való előállítás. Az alkatrész, kezelőszerv formája, alakja több évtizedes tapasztalat során kialakított egyszerű fogantyús kapcsoló elem. A hiba lehetőségét elsősorban az adja, hogy a kapcsoló nemcsak elforgatható (1. ábra), hanem azt a használat során tengelyirányban is mozdítani (benyomni, illetve kifelé húzni) kell.

¹³ GYARMATI–VÉG 2016; GYARMATI–VÉG 2019; VÉGVÁRI–HEGEDŰS–ZENTAY 2022: 56.

¹⁴ SZABÓ 2005.



1. ábra: Mercedes Benz Unimog 1300 L terepjáró tehergépkocsi infravető kapcsolója
 Forrás: MH Páncélos és Gépjárműtechnikai szolgálatfőnökség 2003: 77. (37. kép)

Az infravető kapcsolásának leírását a 2. táblázat tartalmazza. A speciális működési mód, a nem megfelelő kiképzés, illetve a stresszhelyzetben dekoncentráltásgból eredő rossz mozdulat a kapcsoló töréséhez vezethet.

2. táblázat: Kapcsolóhelyzetek és -mozgások

Kapcsolóhelyzet	Kapcsoló mozgás 0-1-2	Kapcsoló mozgás 2-1-0
0 – kikapcsolt állás		A 0 állásba kapcsoláshoz a forgatás elég, a reteszelés csak egy irányban működik.
1 – Az infravörös sugárvető bekapcsolva	Az 1-es álláshoz a kapcsolót a forgástengelyének irányában befele kell elmozdítani, azaz benyomni, ekkor lehet elfordítani.	Visszafele az 1-es állásba kapcsoláshoz szintén kifelé kell húzni.
2 – Az infravörös sugárvető és a fő fény-szórók bekapcsolva (a hátsó helyzetjelző lámpa nincs bekapcsolva)	A 2-es állás kapcsolásához forgástengelyének irányában kifelé kell elmozdítani, azaz kihúzni, ekkor lehet elfordítani.	

Forrás: a szerző szerkesztése

A hiányzó alkatrész már nem volt elérhető, még törött állapotban sem. Az alkatrész méretvételezése egy másik járműben beszerelt kapcsolóról történt meg vázlatrajz és tolómérő segítségével. A fontosabb méretek pontossága 0,1 mm-en belül van, de a lekerékítések értéke esetében túl bonyolult és valójában szükségtelen lett volna azokat helyesen felvenni. A kapcsoló méretei mellett szükséges még a kapcsolószerkezet csatlakozó profiljának méretvételezése is. Részletes méretvétel szükséges a kapcsolószerkezet csatlakozó felületéről (villa) és a kapcsolási módoknak megfelelően a fogantyú mozgását meghatározó elemekről (2. ábra).

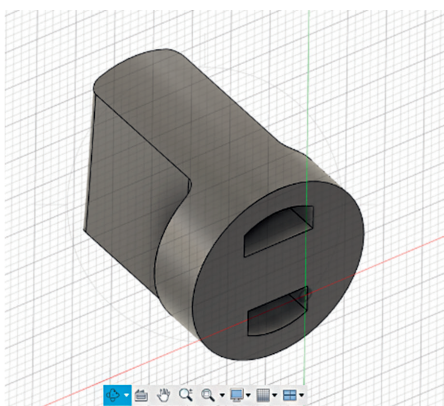


2. ábra: Az infravető kapcsoló csatlakozó felülete
 Forrás: a szerző felvétele

A vázlatrajz és a felvett méretek alapján lehetséges volt a kapcsolófogantyú prototípusának megtervezése. A tervezési munka az Autodesk Fusion 360 3D tervező szoftver és egy asztali számítógép segítségével történt több lépésben.¹⁵ Az informatikai eszközök fontosabb paraméterei:

- processzor: Intel Core i3-7100;
- memória mérete: 8 Gb;
- alaplapba integrált videomegjelenítő.

A kapcsolófogantyú részleteinél a csatlakozó villa profilja jelenti a legnagyobb nehézséget, mivel annak gyártási pontatlanságból eredő méreteltérése (a villa alja és teteje között) 0,2–0,3 mm volt. A tervezés ennek a csatlakozófelületnek a beállításával kezdődött, és a várható méreteltérések miatt szükséges volt egy próbatest tervezése és nyomtatása (3. ábra).

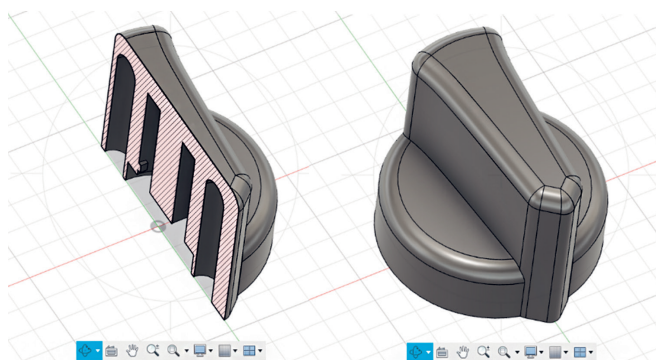


3. ábra: A kapcsolófogantyú villafoglalata

Forrás: a szerző felvétele

A próbadarab esetében csak a csatlakozó profilt tartalmazó kör alakú szelet megrajzolása nem elégséges, mivel a villára való felfekvést, illeszkedést teljes mértékben ellenőrizni kell. A próbadarab célszerűen a kapcsolófogantyú 3D-modelljéből lett kivágva. A rajzfájl „.stl” formátumba exportálása után az Ultimaker Cura 5.2.1. szeletelőprogramban lett létrehozva és beállítva a nyomtatási fájl. A nyomtatási beállítások esetében a felületi minőségre kellett nagy hangsúlyt fektetni. A prototípus alapanyaga fekete színű PLA volt. A próbadarab nyomtatása mintegy 80 perc alatt elkészült az Ultimaker S3 nyomtató segítségével. A méretpróba alkalmával beigazolódott az a feltevés, hogy a méretpontatlanság miatt nem lesz megfelelő a csatlakozó felület. Ebből a tapasztalatból azt a következtetést lehetett levonni, hogy a tervezéskor be kell kalkulálni a méreteltéréseket.

¹⁵ A hardver és a szoftver ugyanaz volt, mint a GÁVAY 2023 irodalomban alkalmazott eszközök.



4. ábra: Az infravető kapcsolófogantyú metszete és egész alakos 3D-modellje

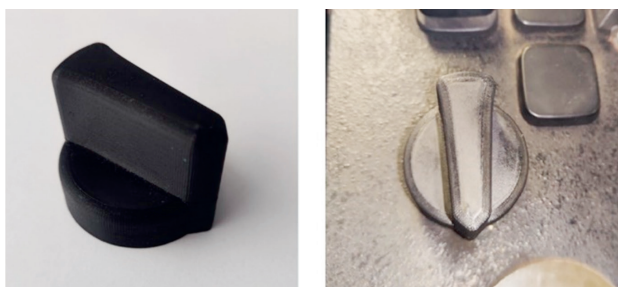
Forrás: a szerző felvétele

3D-modell elkészítésekor lehetőség volt a méret pontatlanságainak megfelelően a villa csatlakozó profiljának falait mintegy 0,15 mm-rel eltolni, illetve a próbatest elkészítésekor és próbájakor látható volt a szükséges alapanyag-mennyiség csökkentésének módja is. A 3D-modellbe kikönnyítések lettek tervezve. A teljes kapcsolót merevre kell készíteni, de a kikönnyítésekkel együtt a nagyobb mértékű kitöltés ellenére is kevesebb alapanyagra van szükség. A merevséget jelentős mértékben javíthatja a falvastagság növelése.

A nyomtatás előkészítése, a paraméterek beállítása az eddigi tapasztalatok felhasználásával történt. A kapcsolófogantyú aljának kialakítása miatt szükségessé vált az alátámasztások alkalmazása, de a kikönnyítések esetében ez elkerülhető volt azok végeinek lekerekítésével, illetve az alátámasztás alkalmazási szögértékének beállításával. A külső falvastagságot 2 mm-re állítottuk, így a nyomtatás 4 óra 38 percet vett igénybe, és 19 g alapanyagra volt szükség.

A kapcsolófogantyú a méretpróba alkalmával teljesen megfelelt, de a felületi minőség elmaradt az elvárt szinttől. Újranyomatáskor a nyomtatófej sebessége 40 mm/s-ra csökkent, ezzel a vártan megfelelően javult a felület, de mintegy 20 perccel megnőtt a nyomtatási idő. A második nyomtatás eredményét és a beszerelt kapcsolófogantyút az 5. ábra mutatja be.

Az infravető kapcsoló fém részének tengelye más okból megsérült, ezért annak cseréje később elkerülhetetlen lesz, de a pótalkatrész méret- és alakellenőrzését ez nem befolyásolta.

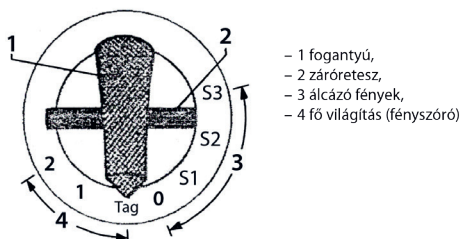


5. ábra: Az infravető kapcsolófogantyú nyomtatás után és beszerelt állapotban

Forrás: a szerző felvétele

A világításfőkapcsoló pótlására tett kísérlet

A vizsgálat második részét a tehergépkocsi világításfőkapcsoló fogantyújának, illetve a fogantyú átalakításának megtervezése és legyártása jelenti. A világításfőkapcsoló mind a normál, mind az álcázó fények kapcsolására szolgál. Ez a kapcsoló még bonyolultabb kezelést igényel, mert nem csak elforgatni, illetve tengely irányban mozgatni lehet, van rajta még egy záróretesz is (6. ábra).



6. ábra: A világítás főkapcsoló részeit és állásait bemutató ábra

Forrás: MH Páncélos és Gépjárműtechnikai szolgálatfőnökség 2003: 75. (34. kép)

3. táblázat: A világításfőkapcsoló zónaváltási helyzetei és mozgatása

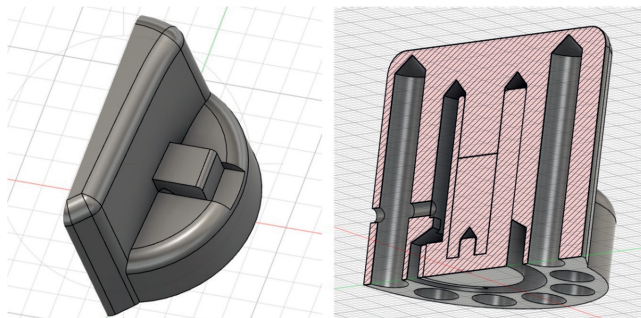
Kapcsolóhelyzet	Kapcsolómozgatás (Tag – 0)	Kapcsolómozgatás (0 – Tag)
Tag – kikapcsolt állás		0 állásból a fogantyút (1) benyomva jobbra fordítani és a reteszt (2) jobbra tolni
0 – Álcázófény zóna alaphelyzete	Tag állásból a fogantyút (1) benyomva balra fordítani és a (2) reteszt balra tolni	

Forrás: a szerző szerkesztése

A normál, nappali üzemmódban a Tag állásból a 4-es zónában a kapcsolófogantyú minden a 2-es és 1-es állásba szabadon forgatható. Az átkapcsolás után a 0 állásból az S3 állásig és vissza szintén szabadon forgatható el minden állásba a 3-as zónában.

A fényszóró távolsági és tompított állása közötti kapcsolás a kormány alatt elhelyezett többcélú bajuszkapcsolóval történik.

A kapcsoló összetettségéből adódóan annak 3D-modellje elkészítése már más szempontok szerint kezdődött. A kapcsolófogantyú-test az infravető kapcsoló alapján már adott volt, de a villa más méretű és elhelyezkedésű volt. A kész rajzon a villahelyek és a középső rész „sketch” rajza átalakítva a megfelelő helyzetre és méretre. Ennek a „sketch”-nek a felhasználásával lett modellezve a csatlakozó felület, így lehetőség volt a kapcsolófogantyú belső méreteinek módosítására, mivel a 3D-modellen, a metszetnézet alkalmazásával láthatóvá vált az alkatrészdarabok kapcsolódása, illeszkedése.



7. ábra: A módosított világításfőkapcsoló modellezésének ábrái

Forrás: a szerző saját készítésű 3D-modelljei

A villa részleges modelljének kettős szerepe lett volna. Az egyik, hogy az alsó részen elhagyható legyen a támasztékok egy része, mert annak eltávolítása körülményes, és a támasztott felület minősége nagyon rossz, érdes. A másik feladat az esetleges méretproblémában érintett felületek beazonosítása. A 7. ábrán jól látható, hogy ki lett alakítva a retesz is, és a nyomtatás a kapcsoló egészét tekintve „alkatrész az alkatrészben” kialakítással lett volna végrehajtva. A kísérlet nem megfelelő eredményére felkészülve viszont előzetesen ki lett alakítva egy technológiai furat is azért, hogy a kapcsolófoglatat leszerelhető legyen a villa rögzítőlemezeinek benyomásával.

Az első nyomtatási kísérlet jelentősen felgyorsított és csökkentett kitöltésű prototípus volt. A nyomtatás végeredménye nem volt megfelelő, annak ellenére, hogy a villa, a kapcsolófogantyú és a retesz függőleges felületei a modell szerint 0,2 mm-es távolságban voltak, a vízszintes érintkező felületek minimálisra lettek csökkentve, és a szeletelőprogram beállításai között a pontosság 0,1 mm-re volt állítva. A prototípus alkatrészeit nem lehetett szétválasztani egymástól. Ennek oka a különálló alkatrészek felületeinek összeolvadása volt (8. ábra).



8. ábra: A két külön alkatrész összeolvadt felületei

Forrás: a szerző felvétele

A második nyomtatási kísérlet előtt a függőleges felületek még további 0,05 mm-rel lettek távolítva egymástól. Ez a 3D-modellező szoftverben az érintett felületek kijelölésével, a „húzás-nyomás” paranccsal egyszerűen kivitelezhető.

A nyomtatás lassabb nyomtatósebességgel, de más tekintetben változatlan beállításokkal történt meg. A nyomtatási folyamatot le kellett állítani, mert a felületek egybeolvadása jól láthatóan ismét megtörtént (9. ábra).

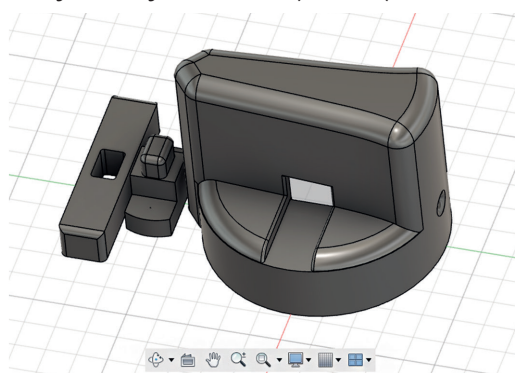


9. ábra: A nyomtatás során összeolvadt alkatrészek

Forrás: a szerző felvétele

Az eddig ismertetett folyam konklúziója volt, hogy az „alkatrész az alkatrészben” kialakítás a jelenlegi eszközökkel és alapanyaggal ennél a munkadarabnál nem kivitelezhető. Át kellett térni egy új megközelítésre. Az első kísérleti elgondolásban a retesz egy közel T betű alakú alkatrész volt, amely a kapcsolófogantyúban kialakított kényszerpályán mozog, és a villa alsó részén lévő tüske határolja be a mozgását. Az új elgondolásban a villák el lettek távolítva, a reteszt szerelhetővé kell alakítani, és a fogantyú belső felületén az alátámasztás-igényt jelentő vízszintes, illetve a vízszintestől 15°-ban eltérő felületek mértékét le kell csökkenteni.

A 3D-modellező szoftverben lehetőség van a szerkesztési fázisok módosítására. Ennek segítségével a retesz ki lett emelve, két részre lett választva, és olyan csatlakozó felületeket kapott, amelyek a két részt összeilleszthetővé teszik. Ebben az összeállításban az alkatrészeket egymás mellé kellett elhelyezni a nyomtatáshoz (10. ábra).



10. ábra: A világításfőkapcsoló alkatrészeinek 3D-modellje

Forrás: a szerző saját készítésű 3D-modellje

A 3D-nyomatás beállításainál már a lehető legjobb felületi minőség volt a legfontosabb szempont. A kinyomtatott alkatrész a kapcsoló villára csak részben volt felhelyezhető, illetve a támasztékok eltávolítása után az alkatrészek összeszerelése nehézkes maradt.

A kapcsolófogantyú áttervezése egyértelműen szükséges volt. Az illeszkedő felületek további 0,15 mm-rel lettek eltávolítva, illetve a retesz számára kialakított nyílás felső szélét megemeltük.

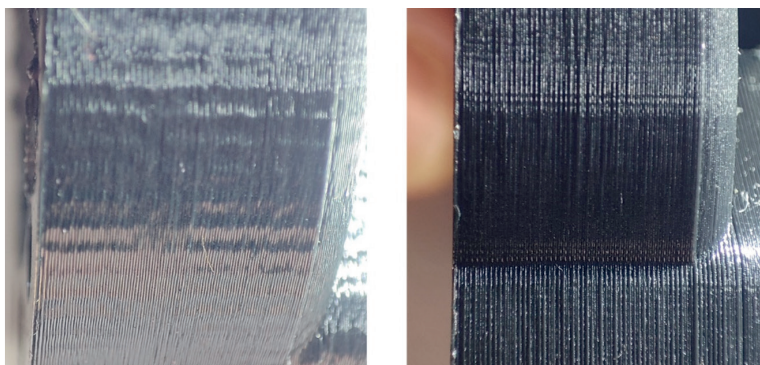
Az utolsó kapcsolófogantyú-verzió nyomtatása már 8 óra 10 percet vett igénybe. Ez a kapcsolófogantyú – a támasztékok eltávolítása és támasztott felületek csiszolása után – a villára megfelelően illeszkedett. A retesz összeszerelhető és beszerelhető volt. A kapcsolófogantyú a beszerelés után a feladatait ellátta, a retesz is megfelelően mozgott, és korlátozta a forgás irányát, az előírásoknak megfelelően.



11. ábra: A világításfőkapcsoló beszerelt fogantyúval és a kapcsoló végállása

Forrás: a szerző felvételei

A létrejött kapcsolófogantyú felületi minősége elfogadható volt, az nem sokban maradt el a gyári darabtól, ugyanakkor jól megválasztott és egyszerűen kivitelezhető utómegmunkálással (például vegyszeres mosás) ez még sokban javítható lenne.¹⁶



12. ábra: A különböző nyomtatási beállításokkal elérhető felületi minőség

Forrás: a szerző felvétele

¹⁶ ZENTAY-HEGEDŰS-VÉGVÁRI 2023.

A világításfőkapcsoló tervezésének és nyomtatásának tapasztalatai

A kísérletek során a publikációban bemutatottnál több alkatrész nyomtatása kezdődött meg. Nem fejeztünk be minden nyomtatási tevékenységet. A kész munkadarabok (világításfőkapcsoló) nyomtatási tapasztalatai szerint:

- a nyomtatási időtartamok 8 óra 10 perc és 8 óra 44 perc időtartam között zajlottak le;
- 21–22 g tömegű alapanyagot kellett felhasználni nyomtatásonként;
- a nyomtatási sebesség változtatása jelentős különbséget mutatott az anyagfelület minőségében.

Összegzés

Az alkatrészpótlásra és -módosításra tett kísérlet eredménye részben sikeres volt. Mindkét kapcsolófogantyú pótolható, módosítható volt a rendelkezésre álló 3D-nyomatási eljárással. Mindkét alkatrész, az eredeti alkatrészek hiányának ellenére, egy másik alkatrész és a csatlakozó felületek, illetve a mozgásukat korlátozó alkatrészek méretének pontos levételével az alkalmazott 3D-tervező programmal jól modellezhetőnek bizonyult. Lehetőség volt az egyik fogantyú alapjainak felhasználására a másik alkatrész modellezéséhez, és ez jelentős munkaidő-megtakarítást eredményezett. Negatív tapasztalat, hogy az alkatrész az alkatrészben kialakítás nem volt megvalósítható a rendelkezésre álló eszközökkel. Ez további kísérletezésre ad lehetőséget. Feltételezés, hogy a nyomtatási hőmérséklet és a nyomtatási sebesség további módosításával, illetve a felületek méreteinek, alakjának változtatásával kivitelezhető lenne az alkatrész az alkatrészben konstrukció megvalósítása. Pozitív eredmény, hogy megtervezett és 3D-nyomatott alkatrészek beszerelhetők, a szükséges mértékben méretpontosak lettek, továbbá a működésük az előírásoknak megfelelően történt. A nyomtatási beállítások egyértelműen befolyásolták a kinyomatott alkatrészek felületének minőségét, még igen kis eltérések esetén is. A 12. ábrán jól látható az alkatrészek felületi minőségének különbsége.

A katonai logisztika területén új elgondolás, hogy a 3D-nyomatás technológiájára alapozva olyan adatbázist hozzanak létre, amely csak „.stl”, illetve szeletelőprogramok számára szükséges fájlkiterjesztéseket tartalmaz. Ez a bemutatott kísérlet alapján önmagában nem lesz elégséges. A nyomtatóeszközök képessége, az alapanyagok tulajdonságai biztosan befolyásolják a 3D-nyomatott alkatrész mérethelyességét, alakpontosságát és felületi minőségét. Ez azt jelenti, hogy egy jól alkalmazható adatbázis számára szükséges egy jóval összetettebb műszaki dokumentáció, illetve a módosítható 3D-modellt tartalmazó fájl is. A műszaki dokumentációnak tartalmaznia kell a nyomtatáshoz szükséges, illetve ajánlott eszközöket, a szoftverek megjelölését, akár frissítések utáni verziószámot megadva, illetve a szeletelő-program beállításait részletesen.

Felhasznált irodalom

- DARUKA Norbert et al. (2024a): 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>
- DARUKA Norbert et al. (2024b): A 3D nyomtatási képesség kialakításának lehetőségei és korlátai a Magyar Honvédségben. *Hadtudomány*, 34(E-szám), 27–39. Online: <https://doi.org/10.17047/Hadtud.2024.34.E.27>
- EMBER István – ÁDÁM Balázs (2022): Kumulatív töltetek 3D nyomtatása. *Hadmérnök*, 17(3), 35–44. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2022.3.2>
- GÁVAY György (2023): Logisztikai járművek alkatrészpótlása 3D nyomtatási technológia alkalmazásával. *Katonai Logisztika*, 31(3–4), 208–232. Online: <https://doi.org/10.30583/2023-3-4-208>
- GYARMATI József (2023): Lánctalpas jármű kormányzása és ennek 3D modellezése. *Műszaki Katonai Közlöny*, 33(3), 51–61. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2023.3.5>
- GYARMATI József – HEGEDŰS Ernő – GÁVAY György (2022): Automata sebességváltóban alkalmazott kapcsolt bolygóművek – Wilson-váltó: Harckocsi-sebességváltó modell kialakítása 3D nyomtatással oktatási célból. *Műszaki Katonai Közlöny*, 32(3), 113–126. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2022.3.7>
- GYARMATI József – VÉG Róbert László (2016): A katonai logisztika alapképzési szak páncélos- és gépjármű-technikai moduljának felépítése a korábbi képzések tükrében, szakmai szemszögből. *Hadmérnök*, 11(2), 1–7. Online: <http://dx.doi.org/10.32567/hm.2019.1.4>
- GYARMATI József – VÉG Róbert László (2019): A Katonai logisztika alapképzési szak páncélos és gépjárműtechnikai modulján végzett hallgatók tanulmányi eredményei összehasonlítva a korábbi képzésekkel. *Hadmérnök*, 14(1), 42–49. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2019.1.4>
- HEGEDŰS Ernő (2023): Szálerősítéses anyagok 3D-s nyomtatásának hadiipari alkalmazási lehetőségei. *Haditechnika*, 57(4), 62–66. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.5.12>
- Magyar Honvédség Páncélos és Gépjárműtechnikai szolgálatfőnökség (2003): *Kézikönyv: Mercedes Benz U 1300 L TGK. Technikai szolgálati előírásai.*
- 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>
- SZABÓ Ildikó (2005): *Új lehetőségek az emelővillás targonca ergonómiai optimalására – Műszaki információ.* Munkavédelem, ergonómia. Műegyetemi digitális archívum. BME OMIKK 11. Online: <https://repozitorium.omikk.bme.hu/server/api/core/bitstreams/8bf6f95f-b8e7-4bdf-bee9-2d586642e022/content>
- VÉGVÁRI Zsolt (2023): A 3D nyomtatás felhasználási lehetőségei a műveleti logisztikában. *Katonai Logisztika*, 33(1–2), 177–198. Online: <https://doi.org/10.30583/2023-1-2-177>
- VÉGVÁRI Zsolt – HEGEDŰS Ernő – ZENTAY Péter (2022): A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei I. rész. *Haditechnika*, 56(6), 56–60. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.56.6.09>
- ZENTAY Péter – HEGEDŰS Ernő – VÉGVÁRI Zsolt (2023): A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei, 3. rész. *Haditechnika*, 57(2), 57–62. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.2.11>

Kátai-Urbán Maxim,¹  Varga Ferenc,²  Vass Gyula³ 

Logisztikai raktárak oltóvízszennyezés- megelőzési felkészültségének ellenőrzése – módszertani javaslat

Inspection of the Preparedness of Logistics Warehouses for Firewater Pollution Prevention – Methodological Proposal

A veszélyes áru logisztikai létesítményekben esetlegesen bekövetkező veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek súlyosan veszélyeztethetik a környezetet és a környezetben élőkét. A súlyos balesetek környezeti hatásainak megelőzéséhez többek között számos tűzvédelmi műszaki követelménynek kell eleget tenniük a létesítmények tervezőinek és üzemeltetőinek. Jelen tanulmányban a szerzők egy lehetséges módszertani javaslatot tesznek a már üzemelő logisztikai raktárak oltóvízszennyezés-megelőzési felkészültségének ellenőrzése céljából.

Kulcsszavak: veszélyes üzem, veszélyes áru, tűzvédelem, logisztika, oltóvízszennyezés

The management of environmental risks associated with the storage of hazardous substances is subject to strict legal regulations in many countries. The legal regulations are applied by the operators of logistics warehouses dealing with hazardous materials based on widely spread methodological guidelines and guidelines. In this article, the authors aim is to propose an inspection tool for the evaluation of the preparedness of logistics warehouses for the firewater pollution prevention.

Keywords: dangerous establishment, dangerous goods, fire protection, logistics, firewater pollution

¹ Osztályvezető, Semmelweis Egyetem Biztonságtechnikai Igazgatóság Biztonságszervezési Osztály, e-mail: katai.urban.maxim@semmelweis.hu

² Intézetvezető egyetemi docens, Nemzeti Közsolgálati Egyetem Rendészettudományi Kar Katasztrófavédelmi Intézet, e-mail: varga.ferenc2@uni-nke.hu

³ Tanszékvezető egyetemi docens, Nemzeti Közsolgálati Egyetem Rendészettudományi Kar Katasztrófavédelmi Intézet Tűzvédelmi Műszaki Tanszék, e-mail: vass.gyula@uni-nke.hu

Bevezetés

A veszélyes anyagokat előállító, feldolgozó vagy raktározó ipari és logisztikai létesítmények, valamint a veszélyes hulladékot feldolgozó üzemek tevékenysége potenciális környezeti veszélyforrásként értékelhető.⁴

A jelzett üzemek által okozott veszélyeztetettség kezelésére létrejött európai uniós szabályozás jelenleg hatályos, 2013. évben elfogadott jogforrása a *veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek veszélyének kezeléséről, valamint a 96/82/EK tanácsi irányelv módosításáról és későbbi hatályon kívül helyezéséről szóló 2012/18/EU irányelv* (Seveso III. irányelv). Az irányelv hazai alkalmazását a *katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról szóló 2011. évi. CXXVIII. törvény* (Kat.) veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek elleni védekezéssel foglalkozó IV. fejezete és a *veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek elleni védekezésről szóló 219/2011. (X. 20.) Korm. rendelet* (Vhr.) szabályozza.

Az érintett telephelyeken esetlegesen veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek gyakran súlyos következményekkel járnak a környező épített és természeti környezetre. Súlyos baleset esetén a gyúlékony anyagok kibocsátásából eredő robbanás vagy a nagyszabású tűz katasztrófális balesetek forgatókönyvei lehetnek.⁵ A jelentős környezeti károk kialakulása megelőzhető azonban tűzvédelmi műszaki, tervezési, szervezési és irányítási intézkedések bevezetésével.⁶ A súlyos balesetek elleni védekezés a társhatóságok intenzív együttműködését igényli, mivel ez a feladat „folyamatos és időszerű információcserét, valamint a feladatok időbeni és térbeli szinkronizálását igényli, hogy elkerülhető legyen az együttműködő szervezetek párhuzamos (és ezáltal felesleges) munkája”.⁷

Jelen cikkben a szerzők a veszélyesanyag-raktározási tevékenységeket érintő oltóvízszennyezési megelőzési jogintézmények vizsgálatával foglalkoznak, amelynek fontos része a jogi szabályozási kötelezettséggel érintett üzemeltetők jogalkalmazási felkészültségének mérése, amelyhez nemzetközileg is elfogadott és alkalmazott ellenőrzési eszközöket szükséges felhasználni.⁸

A szerzők a tanulmány keretei között javaslatot tesznek egy külföldi jó gyakorlatként már széleskörűen alkalmazott ellenőrzési kérdőív hazai bevezetésére. A Német Szövetségi Környezetvédelmi Hivatal (hivatal) kiadásában jelent meg 2015-ben a *vízi környezetre veszélyes anyagokkal kapcsolatos balesetekre történő felkészültség helyzetét mérő német kérdőív* című kiadvány,⁹ amelynek 8. része foglalkozik az úgynevezett „Tűzvédelmi Konceptcióval”, amely tartalmának részletes értékelése a szerzők fő célkitűzése.

⁴ HALÁSZ–FÖLDI 2014.

⁵ ÉRCES–VASS 2018.

⁶ CIMER–SZAKÁL 2015.

⁷ BEREK–FÖLDI–PADÁNYI 2020.

⁸ KÁTAI–URBÁN et al. 2023.

⁹ WINKELMANN–OEI – PLATKOWSKI 2015.

Az oltóvízszennyezéssel kapcsolatos tűzvédelmi rendelkezések

Az ipari balesetek elleni védekezéshez kapcsolódó nemzetközi együttműködés legfontosabb területe az ENSZ Európai Gazdasági Bizottsága, amelynek bázisán kidolgozott *Biztonsági Irányelvek és Jó Gyakorlat az oltóvíz kezelése és felfogása* című módszertani útmutató¹⁰ (ENSZ EGB útmutató) szolgál az üzemeltetők és iparbiztonsági hatóságok részére zsinórmértékül. A nemzetközi oltóvízszennyezés-megelőzési szabályozás elemzése alapján a veszélyesáru-raktárak esetében azok létesítését és használatát szabályozó Tűzvédelmi Koncepció fontosságát érdemes kiemelni. A Tűzvédelmi Koncepció értelmében a kiemelt kockázatot jelentő létesítményekkel és a speciális veszélyforrásokkal, mint például a logisztikai raktárakkal kapcsolatos, esetlegesen bekövetkező jelentős tüzesetek elhárítására külön fel kell készülni.¹¹ További biztonságsszervezési feladatot jelent a kémiai ártalmakkal kapcsolatos üzemeltetői munkavédelmi kötelezettségek előírása is.¹²

A hivatal kiadásában megjelent, a fentiekben hivatkozott kérdőív általános ajánlásokat tesz a Tűzvédelmi Koncepcióval kapcsolatosan. A hatóságok szakemberei az ajánlásokat a közép- és kelet-európai, a kaukázusi és a közép-ázsiai térség országai részére készítették a német műszaki segítségnyújtási alap támogatásával. Az útmutató alkalmazását a már üzemelő veszélyes anyaggal és áruval foglalkozó raktárak oltóvízszennyezés-megelőzési felkészültségének és tűzvédelmi ellenálló képességének meghatározására ajánlják. A Tűzvédelmi Koncepció alapján bevezetett egyedi intézkedések megakadályozzák a tűz keletkezését.¹³

A tűz terjedésének időbeni megakadályozása érdekében ugyanakkor időben lehetővé teszik a tűz keletkezésének észlelését. Az egyéni tűzvédelmi intézkedések a következőkből állnak: létesítési szabályok bevezetése; tüzek észlelése és bejelentése; mobil és helyhez kötött tűzoltó berendezések alkalmazása; megfelelő mennyiségű tűzoltóanyag biztosítása; adminisztratív intézkedések, mint például a tároló létesítményekre vonatkozó előírások, tűzvédelmi tervek, az üzem személyzetének képzése; jól képzett és felszerelt speciális tüzek, mint például a növényvédőszer-tároló tüzének oltására alkalmas létesítményi tűzoltóság fenntartása; a szennyezett tűzoltóvíz felfogására szolgáló létesítmények és intézkedések bevezetése. A Tűzvédelmi Koncepcióban szerepelnek azok a biztonsági intézkedések, amelyek megakadályozzák a veszélyes anyagok kibocsátását, a gyulladást és a robbanást, vagy korlátozzák az anyagok kijutását, vagy amelyek tűzoltási célokat szolgálnak.

A Tűzvédelmi Koncepcióban – a kérdőív meghatározása szerint – a következő főbb tartalmi elemeket különböztethetjük meg:

A felfogó létesítményekkel kapcsolatosan két fontos követelményt azonosíthatunk:

- A kiömlött veszélyes anyagok kármentőinek megfelelően méretezettnek, tömítettnek és a tárolt veszélyes anyagokkal szemben ellenállónak kell lenniük.
- Az oltóvízfelfogó tereknek és berendezéseknek megfelelően tömítettnek és az oltóvíznek ellenállónak kell lenniük.

¹⁰ UN ECE 2019.

¹¹ VARGA 2018.

¹² NAGY 2023.

¹³ KÁTAI-URBÁN et al. 2024.

Az oltóvízfelfogó terek és berendezések méretezésénél a következő paramétereket kell figyelembe venni: a tárolt veszélyes anyagok veszélyessége (vízi környezetre veszélyes, gyúlékonyság); a tűzoltóság felkészültsége; a tűzvédelmi infrastruktúra (tűzjelző rendszer, tűzoltó rendszer); a tároló rész teljes területe; a tárolt áruk magassága, az áruk raktározási sűrűsége és raktározott mennyisége; a tároló létesítmény jellege (szabadban vagy zárt térben történő tárolás). Az oltóvíztároló létesítménybe történő szállítására használt szivattyúnak meg kell felelnie az egyedi biztonsági követelményeknek.

Az építési tűzvédelmi intézkedések között számos követelményt találhatunk. Ilyen például az, hogy nem éghető tűzvédelmi osztályú építőanyagokat kell használni, továbbá a tároló épületet tűzgátló építményszerkezetekkel elválasztva tűzszakaszokra kell osztani.

A tűzjelző rendszerek alkalmazását érintően általános követelmény, hogy a hő-, füst-, hősebesség- és lángérzékelőket úgy kell felszerelni, hogy garantálják a tűz azonnali és megbízható észlelését. Figyelembe kell venni azokat a tényezőket, amelyek befolyásolhatják a gyors érzékelést, mint például a helyiség magassága, a tetőterület felosztása (például a tartószerkezetek magassága), a környezet állapota és minden lehetséges téves riasztást eredményező tényező.

A raktárak tűzvédelmi követelményei között kiemelt szerepe van az oltóvízellátás megfelelősége vizsgálatának.

A kérdőív a következő főbb fejezetekből áll: (1) tűzmelegelőzési stratégia, (2) felfogó létesítmények, (3) az építményszerkezeti anyagokkal szemben támasztott tűzvédelmi követelmények, (4) tűzjelző rendszer, (5) oltóvíz biztosítása.

Az egyes fejezetekhez több ellenőrző kérdés tartozik, amelyeknél a megjelölendő válaszok lehetnek „igen”, „nem” vagy „nem alkalmazható”. Valamennyi kérdésnél megtalálható továbbá a lehetőség az „intézkedés szükséges” vagy „intézkedés nem szükséges” válaszok megjelölésére. A kérdőívben kérdéscsoportonként ajánlások találhatóak az esetleges hiányosságok kiküszöbölésére szolgáló lehetséges azonnali, középtávú és hosszú távú üzemeltetői intézkedések bevezetésére.

A tűzmelegelőzési stratégiával kapcsolatos értékelés tartalma

A szennyezett oltóvíz megelőzésének első eleme a tűz kialakulásának megelőzése, amelyet a Tűzvédelmi Koncepció tűzmelegelőzési intézkedéseket tartalmazó része szabályoz. A megelőzési intézkedések ellenére kialakult tűz észlelése és terjedésének meggátlása elsődleges következménycsökkentő tényező. Emellett szükség van a tűzoltási felszerelések alkalmazásának kezelői begyakorlására is. A veszélyes tevékenység tűzvédelmi koncepcióját (rendszerét) az útmutató alapján alapvetően két típusra oszthatjuk:

- az aktív tűzvédelemre, amely kézi vagy automatikus tűzjelző és oltórendszert üzemeltet, valamint
- a passzív tűzmelegelőzésre, amelynek része a létesítmény tűzgátló falakkal és berendezésekkel történő tűzszakaszokra osztása.

A Tűzvédelmi Koncepció fontos, alapvető eleme a tűzvédelmi stratégia meghatározása.

A kérdőív tűz megelőzési stratégiával foglalkozó kérdései között az alábbiakat találhatjuk:

- A tűzveszélyes folyadékokat kezelő üzemek fel vannak-e szerelve elegendő tűzvédelmi berendezéssel, mint például tűzoltó készülék és beépített automatikus vízzel oltó berendezés (*sprinkler*)?
- A tűzvédelmi létesítmények típusát és kialakítását a tűz megelőzésért felelős hatóságokkal együttműködve határozták meg?
- A tároló létesítmény részei, mint például a tároló létesítmények, a csővezetékek vagy a felfogó létesítmények megfelelnek-e a legalább 30 perces tűzállósági határértékkövetelménynek?
- Megfelelő intézkedéseket vezettek-e be annak megakadályozására, hogy a létesítmény környezetéből származó tűz áttérjen a saját létesítményre?
- A tűzvédelmi berendezéseket a kezelt éghető folyadékok típusának és mennyiségének megfelelően választják-e ki? Ebben a kérdéskörben a következő szempontokat veszik különösen figyelembe: helyi és működési feltételek, éghető folyadékok mennyisége és a veszély mértéke.
- Megfelelő módon biztosított-e a helyi tűzoltóságra történő tűzjelzés?
- Milyen tűzvédelmi berendezéseket alkalmaznak a kültéri tárolóhelyeken? A tűzvédelmi berendezések lehetnek: stabil tűzvédelmi eszközök; mobil tűzvédelmi eszközök, félstabil tűzvédelmi eszközök.
- Milyen tűzoltó (habbal oltó, gázzal oltó, porral oltó, vízzel oltó) anyagokat használnak? Vannak-e speciális megelőző intézkedések az elektrosztatikus feltöltődés miatti gyulladás elkerülésére, ha oltógázt vagy oltóport használnak a robbanásveszélyes környezetben? Ilyen lehet például az inertgázzal oltó berendezés vagy egyéb oltóberendezés.
- Használnak-e mobil vízpajzsot? Figyelembe veszik-e a következő szempontokat a mobil vízpajzsok használatakor?
- a tűzzel érintett létesítmény melletti szomszédos létesítményekhez megfelelő mennyiségű hűtési célú vizet kell biztosítani függetlenül a szél és a füst terjedési irányától;
- a tűzcsapoknak rendelkezésre kell állniuk, és úgy kell elhelyezkedniük, hogy tűz keletkezésekor minden irányból könnyen hozzáférhető legyenek a szomszédos létesítmények hűtésére;
- a hűtéshez szükséges berendezéseknek és a működésükhöz szükséges szakszemélyzetnek folyamatosan készenlétben kell állnia. A tűz keletkezését követően a lehető legrövidebb időn belül garantálni kell a létesítmények hatékony hűtését.
- Elegendő mennyiségben állnak-e rendelkezésre közműelzáró és kioldó szerelvények vagy kezelőpanelek? Könnyen hozzáférhető-e ezek a felszerelések a létesítmény egész területén?
- Megvalósultak-e a következő adminisztratív intézkedések: tároló létesítményekre vonatkozó előírások, tűzvédelmi tervek, üzemi személyzet képzése?
- Az illetékes tűzoltóság ismeri-e a lehetséges veszélyhelyzet részleteit? Az illetékes tűzoltóság személyi és technikai feltételei lehetővé teszik-e a beavatkozás helyszínén eloltani a tüzet?

A kérdőív példákat mutat be a lehetséges üzemeltetői tűzvédelmi javító intézkedésekre, amelyeket az 1. táblázat szemléltet.

1. táblázat: Üzemeltetői tűzvédelmi intézkedések bevezetésének módja és időbeli lefolyása

Időbeli lefolyás	Az üzemeltetői tűzvédelmi intézkedés tartalma
Rövid távú intézkedések	Rendszeres ellenőrzés a szivárgások, valamint az esetleges gyújtóforrások felderítésére. Dohányzás, nyílt láng, tűz és forró tárgyak használatának tilalma. A személyzet képzése és oktatása a tűzoltási intézkedésekről és a tűz keletkezése esetén történő tevékenységről. Fokozottan tűzveszélyes területek kijelölése és jelölése „Dohányozni tilos” és „Nyílt láng használata tilos” táblákkal. A tűzoltó eszközök ellenőrzése és korszerűsítése. Elegendő oltóvízmennyiség biztosítása. A tűzoltóság riasztásának biztosítása, a tűzoltóság vonulási idejének ellenőrzése. Az ellenőrzés eredményétől függően további intézkedések meghatározása.
Középtávú intézkedések	Speciális karbantartási és munkavégzési előírások meghatározása a fokozottan tűzveszélyes területeken. Oltóvízellátás javítására szolgáló intézkedések, mint például meglévő tűzcsapok vízhozamának növelése, illetve további tűzcsapok telepítése. Intézkedések a tűzoltóság riasztásának javítására tűzátjelző telefonok vagy manuálisan indítható tűzjelző berendezések felszerelésével. A beavatkozási idő csökkentése a tűzoltósággal együttműködve. Az építményszerkezetek védelme a tűzterjedést csökkentő tűzgátlófalak vagy burkolatok beépítésével. Megvizsgálni a környezetszennyező habbal oltó anyagok lehetséges kiváltását.
Hosszú távú intézkedések	A helyi tűzoltósághoz riasztásátjelző automatikus tűzjelző berendezések telepítése. További intézkedések bevezetése, az építményszerkezeti elemek védelme a tűzterjedést csökkentő tűzgátló falak vagy burkolatok beépítésével. Tűzszakaszok kialakítása és tűzgátló falak telepítése a tárolási vagy az üzemi területeken. Meglévő épületek átépítése vagy újjáépítése során nem éghető tűzvédelmi osztályú építőanyagok használatával.

Forrás: német kérdőív alapján KÁTAI-URBÁN szerkesztése

A felfogó létesítményekkel kapcsolatos követelmények vizsgálata

A tudományos problémához tartozó eljárási és műszaki megoldásokat – az oltóvízfelfogás és -elvezetés vonatkozásában – többféle jogalkalmazási útmutató tartalmazza, amelyek közül kiemelkedő fontosságú a német¹⁴ és a svájci¹⁵ környezetvédelmi jogalkalmazási útmutató. A kiadványok a szennyezett oltóvízfelfogó terek és berendezések műszaki kialakítását és az alkalmazásukhoz kapcsolódó szervezési intézkedések rendjét szabályozzák. A felfogó rendszerhez tartósan telepített (gátak, állandó vízgyűjtő medencék) és mobil, ideiglenesen telepített műszaki berendezések (oltóvízfelfogó gátak, csatornaelzárók, mobil gyűjtőtartályok) alkalmazása szükséges, ahol a tartósan telepített rendszereket előnyben kell részesíteni.

Az oltóvízfelfogó, -elvezető és -tároló létesítmények veszélyes anyagok általi veszélyeztetése hasonló okokra vezethető vissza, mint a közműrendszerek üzemeltetésekor jelentkező környezeti veszélyeztető tényezők.¹⁶

¹⁴ VdS 2013.

¹⁵ Kanton St. Gallen Amt für Umwelt 2017.

¹⁶ KOVÁCS–DÉNES 2019.

A kérdőív felfogó létesítményekkel foglalkozó kérdései között az alábbiakat találhatjuk:

- Vannak-e kármentő berendezések a kibocsátott veszélyes anyagok tárolására és azok megfelelően méretezettek-e?
- A meglévő kármentő berendezések megfelelően zártak-e, és elég tartósak-e az esetlegesen kibocsátott veszélyes anyagok ellen?

A kármentőkkel kapcsolatosan javasolt üzemeltetői intézkedéseket a 2. táblázat ismerteti.

2. táblázat: A kármentő berendezések szerkezeti megfelelősége

Időbeli lefolyás	Az üzemeltetői intézkedés tartalma
Rövid távú intézkedések	Ideiglenes kármentő berendezések létesítése, mint például mesterséges gátak kialakításával a felszabaduló anyagok terjedésének korlátozása. Padlófelületek ideiglenes burkolása. A meglévő kármentő és gyűjtő medencék méreteinek ellenőrzése és azok szigetelésének ellenőrzése és szükséges javítása. Rendszeres ellenőrzések végrehajtása belső és külső szakemberek bevonásával. A kifolyó veszélyes anyagokkal és az oltóvízzel szembeni ellenálló képesség ellenőrzése.
Középtávú intézkedések	A súlyosan sérült kármentő medencék nagyjavítása vagy felújítása.
Hosszú távú intézkedések	Kármentő medencék és másodlagos felfogó létesítmények telepítése, amelyek elégséges méretűek a szivárgás vagy túltöltés miatt kifolyó veszélyes anyagok felfogására. A másodlagos felfogó létesítmények szigetelőképességének biztosítása. A kármentő medencék ellenálló képességének időtartamát igazítani kell a kibocsátott veszélyes anyaghoz és a mentesítés időtartamához.

Forrás: német kérdőív alapján KÁTAI-URBÁN szerkesztése

A kérdőív oltóvíztároló berendezésekkel foglalkozó kérdései között az alábbiakat találhatjuk:

- Rendelkezésre állnak-e elválasztó létesítmények az oltóanyagok számára, és azok megfelelő méretűek-e?
- Figyelembe vették-e az alábbi tényezőket az oltóanyag-felfogó és -tároló létesítmények méretének meghatározásakor? A méretezést befolyásoló tényezők a következők lehetnek: mennyire veszélyesek a tárolt anyagok (például: vízszennyező, tűzveszélyes); a tűzoltóság vonulási időtartama; a tűzoltó műszaki eszközök (tűzjelző berendezések, stabil tűzoltó berendezések, oltóvízellátás, alternatív oltóanyagok, mint például oltóhab alkalmazása) megléte; a tároló létesítmények padlózata; az anyagok tárolási magassága, tárolási sűrűsége és a tárolt anyagok mennyisége; a tároló típusa, épületen belül vagy kívül.
- A szennyezett oltóanyag tárolására szolgáló létesítmények megfelelően zártak-e és tartósak-e?
- Az oltóanyagot szivattyúk segítségével szállítják-e a tároló létesítményekbe?
- Vannak-e további műszaki intézkedések a szivattyúk hatékonyságának biztosítása érdekében?

Az oltóvíztároló berendezésekkel kapcsolatosan javasolt üzemeltetői intézkedéseket a 3. táblázat ismerteti.

3. táblázat: Az oltóvíztároló berendezések megfelelése

Időbeli lefolyás	Az üzemeltetői intézkedés tartalma
Rövid távú intézkedések	Bizonyítani kell a tároló létesítmények ellenálló képességét a szennyezett oltóanyagokkal szemben. Az oltóanyag tárolására szolgáló létesítmény megfelelő méretét a tűzoltóság szakembereivel közösen ellenőrizni szükséges. A sérült illesztések és repedések rendszeres ellenőrzése és javítása. A szivattyúk megfelelő működőképességének ellenőrzése és dokumentálása.
Középtávú intézkedések	Megfelelő szigetelőanyagok használata az illesztések kellő tömítésére. A meglévő létesítményeknél a szennyezettoltóanyag-tároló megfelelő szigetelése és méretezése.
Hosszú távú intézkedések	Megfelelően szigetelt oltóvíztároló létesítmények – az alkalmazott oltóanyagra és tűzvédelmi stratégiára figyelemmel történő – telepítése. Biztosítani kell az újonnan telepített oltóanyag-tároló létesítmények szigetelőképességét. A tároló felületeknek a szennyező anyagok ártalmatlanításáig kellően ellenállónak kell lenni az esetleges veszélyes anyagokkal szennyezett oltóanyagokkal kapcsolatban. Biztosítani kell az oltóanyag-visszavezetéshez szükséges teljesítményigényt és a szivattyúk szállítóképességét ellenőrző eszközöket.

Forrás: német kérdőív alapján KÁTAI-URBÁN szerkesztése

Az építményszerkezeti anyagokkal szemben támasztott tűzvédelmi követelmények

Az egyedi tűzvédelmi intézkedések közé sorolható az építési megoldások, a tűzdetektáló és -jelző eszköz, a mobil és telepített tűzoltó berendezések, a megfelelő mennyiségű habképző anyag és oltóvíz, nagy nyomású tűzoltó szivattyúk, szervezési intézkedések (tárolási szabályzat, tűzvédelmi terv, felkészítési program), megfelelően gyakoroltatott létesítményi tűzoltóság, a szennyezettoltóvíz-felfogás mobil és telepített eszközei és intézkedési rendszere.

Az építészeti tűzvédelem célja a tűz minimális üzemterületeken (tűzszakaszokon) történő tartása. Az útmutató szerint a tűzszakaszok mérete egyenesen arányos a felhasznált oltóvíz mennyiségével. A tűzvédelmi berendezéseknek meg kell felelniük a tűzvédelmi műszaki követelményeknek, továbbá időszakos karbantartásokon és próbaüzemek alkalmával kell működésüket biztosítani és ellenőrizni.

A kérdőív építményszerkezeti anyagokkal kapcsolatos kérdései között az alábbiakat tárlhatjuk:

- Az építményszerkezetek nem éghető tűzvédelmi osztályú anyagokból épültek?
- Az épületek fel vannak osztva tűzszakaszokra és/vagy tűzgátló falakkal elválasztott részekre?

Az építményszerkezet tűzállósági teljesítményével kapcsolatosan javasolt üzemeltetői intézkedéseket a 4. táblázat ismerteti.

4. táblázat: Az építményszerkezet tűzállósági teljesítményével kapcsolatos üzemeltetői intézkedések

Időbeli lefolyás	Az üzemeltetői intézkedés tartalma
Rövid távú intézkedések	<p>A személyzet képzése és felkészítése a tűz esetén történő beavatkozásra.</p> <p>Fokozottan tűzveszélyes területek kijelölése és jelölése „Dohányozni tilos” és „Nyílt láng használata tilos” táblákkal.</p> <p>A tűz azonnali oltását biztosító tűzoltó eszközök (kézi tűzoltó készülékek és fali tűzcsapok) ellenőrzése és korszerűsítése.</p> <p>Elegendő oltóanyag biztosítása, és szükség esetén a mennyiség növelése.</p> <p>A tűzoltóság riasztási módjának és vonulási idejének ellenőrzése. Az ellenőrzés eredményétől függően további üzemeltetői intézkedések meghatározása.</p>
Középtávú intézkedések	<p>Oltóvízellátás javítására szolgáló intézkedések, mint például meglévő tűzcsapok vízhozamának növelése, további tűzcsapok telepítése.</p> <p>Intézkedések a tűzoltóság riasztásának javítására tűzjelző telefonok vagy manuálisan indítható tűzjelző berendezések felszerelésével.</p> <p>A beavatkozási idő csökkentése a tűzoltósággal együttműködve.</p> <p>Az építményszerkezeti elemek védelme tűzterjedést csökkentő tűzgátló falak vagy burkolatok beépítésével.</p>
Hosszú távú intézkedések	<p>A helyi tűzoltósághoz riasztástjelző automatikus tűzjelző berendezések telepítése.</p> <p>További intézkedések bevezetése az építményszerkezeti elemek védelmére tűzterjedést csökkentő tűzgátló falak vagy burkolatok beépítésével.</p> <p>Tűzszakaszok kialakítása és tűzgátló falak telepítése a tárolási vagy az üzemi területeken.</p> <p>Meglévő épületek átépítése vagy újjáépítése során nem éghető tűzvédelmi osztályú építőanyagok használata.</p>

Forrás: német kérdőív alapján KÁTAI-URBÁN szerkesztése

A tűzjelző rendszerrel kapcsolatos kérdések

A veszélyes anyag logisztikai raktárakban előforduló tüzek megelőzésének egyik fontos eszköze a tűzjelző rendszerek kialakítása és üzemeltetése, amelyek a tűzoltó rendszerekkel együtt betöltik a rendeltetésüket. A vagyonvédelmi rendszerek is a helyszíni fizikai védelmi rendszer részét képezik.¹⁷ A technológiai fejlődés eredményeként a vagyon- és munkavédelmi feladatok ellátására kiépített kamerarendszerek is előtérbe kerültek.¹⁸ Ez utóbbi rendszerek kettős alkalmazására vonatkozóan további kutatások végezhetőek. Hasonlóan fontos gyakorlati tanulságokat sajtíthatunk el a tűzvédelmi hatósági tevékenység fejlesztése szempontjából a rendezvénybiztonság rendészeti kérdéseinek kezelése során is.¹⁹

Az üzemspecifikus tűzvédelmi berendezések biztosítják tehát a tűz gyors észlelését és oltását. Az automatikus tűzjelző rendszerek csökkentik a beavatkozás időtartamát, ami biztosítja a tűz eszkalálódásának megakadályozását.

Az automata oltóberendezések (*sprinkler*ek, gázzal oltók stb.) a tüzet eloltják vagy korlátozzák annak terjedését. A füst- és hőelvezető rendszerek a tűzszakaszok hűtését szolgálják. A tárolási magasság és sűrűség kihat a tűzterhelésre és a tűzoltás hatékonyságára. A tárolt folyadékok hozzáadódnak az oltóvíz mennyiségéhez. A tűzveszélyes anyagok a tűzveszélyességük függvényében járulnak hozzá a tűz terjedésének gyorsaságához. Egyes veszélyes

¹⁷ TÓTH 2024.

¹⁸ TÓTH 2016.

¹⁹ NAGY-TÓTH 2017.

anyagok (például oxidáló anyagok) tüzeinél a keletkező tűz nem oltható vízzel, ami csökkenti a felhasznált vízmennyiséget.

A kérdőív tűzjelző rendszereket érintő kérdései között az alábbiakat találhatjuk:

- Az automatikus tűzjelző berendezést úgy szerelték-e fel, hogy biztosítsa a tűz kitörésének gyors és megbízható észlelését?
- Figyelembe vettek-e olyan fontos tényezőket, amelyek befolyásolhatják a tűzjelző berendezés működőképességét?

Ilyen tényezők lehetnek például: a tárolóterek magassága; a tető területének felosztása például füstgátló szerkezettel; olyan tárolási feltételek, amelyek akadályozhatják a tűzészlelést a tűzjelző berendezések által felügyelt terület korlátozásával; a téves riasztások forrásainak kiküszöbölése, mint például magas páratartalom, ismeretlen gázok jelenléte a füstérzékelő használatakor.

A tűzjelző rendszerekkel kapcsolatosan javasolt üzemeltetői intézkedéseket az 5. táblázat ismerteti.

5. táblázat: A tűzjelző rendszerrel kapcsolatos üzemeltetői intézkedések

Időbeli lefolyás	Az üzemeltetői intézkedés tartalma
Rövidtávú intézkedések	A tűzjelző érzékelők telepítési helyének megváltoztatása. A téves riasztásoknak a környezeti feltételek javításával vagy a zavaró források csökkentésével való kiküszöbölése. Téves riasztások kiküszöbölése más mérési elven alapuló tűzjelző eszközök használatával. A tűzérzékelés javítása a tűzjelző rendszer korszerűsítésével és további érzékelők telepítésével.
Középtávú intézkedések	A tűzjelző rendszer fejlesztése további tűzjelző érzékelők telepítésével. A zavaró forrás által keltett téves riasztások megszüntetése. A tűzérzékelés javítása a tűzjelző rendszer korszerűsítésével és további érzékelők telepítésével.

Forrás: német kérdőív alapján KÁTAI-URBÁN szerkesztése

Az oltóvíz biztosításával kapcsolatos kérdések

Az ENSZ EGB útmutató megadja az alkalmazható oltóvízmennyiség számítási eljárását is, amely elsősorban az aktív és passzív beépített tűzvédelmi rendszerek kiépítettségétől függ.

Ezentúl a raktártűz eloltásához szükséges oltóvíz mennyiségét leginkább a tűzszakasz területe befolyásolja. Ennek megfelelően az ENSZ EGB útmutató ajánlást ad az oltóvízfelfogó létesítmények méretezési eljárására vonatkozóan, ami a következő lépésekből állhat:

- Az oltóvíz mennyiségének nagybani számvetéséhez a legnagyobb tűzszakasz területét figyelembe véve minden négyzetméterre egy köbméter oltóvizet lehet kalkulálni. Így 5000 m² területre 5000 m³ oltóvíz szükséges.
- Egy nagyságrenddel kevesebb oltóvíz szükséges a korszerű tűzvédelmi koncepcióval rendelkező létesítménynél (automata sprinklerrendszer, gázzal oltó rendszerek stb.). Így 5000 m² területre legalább 500 m³ oltóvíz szükséges.

Pontosabb számítások elvégzéséhez a korábban már hivatkozott Német Vds vagy a Svájci Kantonközi Útmutató használata javasolt.

A kérdőív oltóvíz-biztosítással kapcsolatos kérdései között az alábbiakat találhatjuk:

- Biztosítható-e az elegendő mennyiségű oltóvíz?
- Az oltóvízellátás és az egyes tűzcsapok hatékonysága megfelelő-e?

Az oltóvíz-biztosítással kapcsolatos üzemeltetői intézkedéseket a 6. táblázat ismerteti.

6. táblázat: Az oltóvíz-biztosítással kapcsolatos üzemeltetői intézkedések

Időbeli lefolyás	Az üzemeltetői intézkedés tartalma
Rövid távú intézkedések	Az oltóvízellátás és az egyes tűzcsapok hatékonyságának próbája. A helyi tűzoltósággal együttműködve ellenőrizni kell a meglévő oltóvíz mennyiségét. A helyi tűzoltósággal együttműködésben fejleszteni a meglévő oltóvízellátást.
Középtávú intézkedések	Egyedi intézkedések bevezetése.

Forrás: német kérdőív alapján KÁTAI-URBÁN szerkesztése

Létesítmények megfelelőségének rangsorolása

Valamennyi fejezet végén található egy indexáló táblázat, amelyben rangsorolják a javaslatokat, azok teljesítési fokától függően. Három indexet alkalmaz a kérdéssor. A teljes megfelelőséget, a részleges megfelelőséget és a nem teljesítést is pontozza. Ennek megfelelően történik az indexálás. A 7. táblázat foglalja össze a lehetséges pontozási eredményeket.

7. táblázat: Létesítmények megfelelőségének rangsorolásához alkalmazott indexálás

Fejezet	Teljes megfelelőség	Részleges megfelelőség	Nem megfelelőség
(1) Tűzmelegelőzési stratégia	1	5	10
(2) Felfogó létesítmények	1	25	50
(3) Építményszerkezetek tűzállósága	1	5	10
(4) Tűzjelző rendszer	1	5	10
(5) Oltóvíz biztosítása	1	5	10

Forrás: német kérdőív alapján KÁTAI-URBÁN szerkesztése

A kérdőív átlagos kockázati rangsorolását a fejeztek kockázati kategóriáinak (pontszámainak) összege adja. Minél kisebb a kockázati érték, annál jobb az adott létesítmény oltóvízszennyezés-megelőzési felkészültsége.

Befejezés, következtetések

A már működő veszélyes anyag és áru tárolásával foglalkozó veszélyes tevékenységek oltóvízszennyezés-megelőzési célú üzemeltetői és hatósági ellenőrzéséhez szükséges kérdőív

alkalmazására készült, jelen tanulmányban részletezett szakmai javaslat a német környezetvédelmi hatóságok által létrehozott ellenőrzési kérdőívén alapul.

A kérdőív kiválóan alkalmazható a hazai érintett létesítményi kör megfelelőségének ellenőrzésére és javító intézkedések foganatosítására. Az is evidens, hogy az újonnan létesített és veszélyes anyag tárolására átalakított létesítményeket már a korszerű és nemzetközileg elfogadott követelmények szerint kell megépíteni.

Nemzetközi beruházói környezetben a külföldi tulajdonosok már „hozzák magukkal” a származási országban alkalmazott előírásoknak történő megfelelést biztosító tervezési eljárásokat és műszaki követelményeknek való megfelelést biztosító jó üzemeltetői gyakorlatot. A hazánkban már üzemelő veszélyes anyagokkal foglalkozó logisztikairaktár-létesítmények azonban nem minden esetben felelnek meg a korszerű raktárokkal szemben támasztott követelményeknek, ennél fogva ellenőrzésük, akár jelen kérdőív útján is, szükségesnek bizonyulhat.

Felhasznált irodalom

- BEREK, Tamás – FÖLDI, László – PADÁNYI, József (2020): The Structure and Main Elements of Disaster Management System of the Hungarian Defence Forces, with Special Regard to the Development of International Cooperation. *AARMS Academic and Applied Research in Military Science*, 19(1), 17–26. Online: <https://doi.org/10.32565/aarms.2020.1.2>
- CIMER, Zsolt – SZAKÁL, Béla (2015): Control of Major-Accidents Involving Dangerous Substances Relating to Combined Terminals. *Science for Population Protection*, 7(1), 1–11. Online: www.population-protection.eu/prilohy/casopis/eng/21/98.pdf
- KOVÁCS Zoltán – DÉNES Kálmán (2019): Létesítmények közműrendszereinek robbantásos cselekmények általi veszélyeztetettsége és védelme. *Hadtudományi Szemle*, 12(Különszám), 77–85. Online: <https://doi.org/10.32563/hsz.2019.1.ksz.5>
- ÉRCES Gergő – VASS Gyula (2018): Veszélyes ipari üzemek tűzvédelme ipari üzemek fenntartható tűzbiztonságának fejlesztési lehetőségei a komplex tűzvédelem tekintetében. *Műszaki Katonai Közlöny*, 28(4), 2–22. Online: <http://hdl.handle.net/20.500.12944/14173>
- HALÁSZ László – FÖLDI László (2014): *Környezetbiztonság*. Budapest: Nemzeti Közszerkesztési Egyetem. Online: <https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/20.500.12944/100403/562.pdf?sequence=1>
- Kanton St. Gallen Amt für Umwelt (2017): *Beurteilungshilfe zur Löschwasser-Rückhaltung*. St. Gallen. Online: www.zh.ch/content/dam/zhweb/bilder-dokumente/themen/umwelt-tiere/umweltschutz/betrieblicher-umweltschutz/fachbereiche/leitfaden_loeschwasserrueckhaltung
- KÁTAI-URBÁN Maxim et al. (2023): Veszélyes anyagok tárolása a logisztikai raktárakban. *Műszaki Katonai Közlöny*, 33(3), 63–75. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2023.3.6>
- KÁTAI-URBÁN Maxim – ÉRCES, Gergő – VASS, Gyula – CIMER, Zsolt (2024): Veszélyes áru raktározás oltóvízszennyezéssel kapcsolatos tűzvédelmi követelményeinek értékelése. *Polgári Védelmi Szemle*, 16(Különszám), 312–323. Online: https://mpvsz.hu/pv_szemle/mpvszemle2024/index.html#page=312
- NAGY Rudolf (2023): A munkahelyi kémiai ártalmak és az iparbiztonság. *Polgári Védelmi Szemle*, 15(19), 261–279.
- NAGY-TÓTH Nikolett Ágnes (2017): A sportrendezvények biztosítása az elmúlt évszázad eseményeinek tükrében. *Gazdaság és Jog*, 25(1), 13–19. Online: <http://real.mtak.hu/id/eprint/107476>
- TÓTH, Levente (2016): Limitation in the Application of High Resolution Image Sensors. *National Security Review*, (2), 108–122.

- TÓTH Levente (2024): Hazai közterületi videomegfigyelő rendszerek állapota és fejlesztési lehetőségei. *Belügyi Szemle*, 72(1), 243–265. Online: <https://doi.org/10.38146/BSZ.2024.2.4>
- UN Economic Commission for Europe (2019): *Safety Guidelines and Good Practices for the Management and Retention of Firefighting Water*. Geneva: United Nations. Online: www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2019/TEIA/Publication/1914406E_web_high_res.pdf
- VARGA Ferenc (2018): A mentő tűzvédelem optimális diszlokációjának területi és szervezeti szintű kidolgozása, a meghatározó szempontok elemzése. *Műszaki Katonai Közlöny*, 28(3), 15–40. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/mkk/article/view/1529/848>
- VdS (2013): *VdS 2557 Planning and Installation of Facilities for Retention of Extinguishing Water*. Guidelines for Loss Prevention by the German Insurers. Koln: VdS Schadenverhütung GmbH. Online: <https://shop.vds.de/publikation/vds-2557en>
- WINKELMANN-OEI, Gerhard – PLATKOWSKI, Jörg (2015): *Checklists for Surveying and Assessing Industrial Plant Handling Materials and Substances, Which Are Hazardous to Water № 8 Fire Prevention Strategy*. Dessau-Roßlau: Federal Environmental Agency. Online: www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/check08_fireprevention_en_2014.pdf

Jogi források

2011. évi CXXVIII. törvény a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról
- 219/2011. (X. 20.) Korm. rendelet a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek elleni védekezésről
- Az Európai Parlament és Tanács 2012/18/EU irányelve (2012. július 4.) a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek veszélyének kezeléséről, valamint a 96/82/EK tanácsi irányelv módosításáról és későbbi hatályon kívül helyezéséről

Gabriella László¹ 

The Influence of Polystyrene Thermal Insulation on Fire Load

Today, there are already a huge number of types of polystyrene thermal insulation available with different properties and different behaviour to fire. The literature does not provide clear data and still only one type of polystyrene insulation is listed in the standards. Yet simulation testing of polystyrene insulations and fire spread is not a widespread method. Studies prove that radiant heat causes heat development in polystyrene insulation which can modify the fire load of a building. In this paper, the behaviour of polystyrene thermal insulation, which is densely used in Hungary is examined, under the influence of radiant heat in simulation environment, and its influence on fire load is investigated.

Keywords: polystyrene thermal insulation, radiant heat, fire safety, simulation, heating value of polystyrene, fire load

Introduction

Fire safety is still a crucial topic nowadays. As material essentials, intellectual values and most importantly human lives can be at risk or damaged during a fire. Therefore, the fire protection of buildings is still a very important issue. One of the most combustible materials used in buildings is polystyrene thermal insulation. Yet, it is the most widely used due to its price and wide application. Former literature revealed that polystyrene behaves interestingly not only when exposed to fire, but also under influence of thermal radiation.² Simulations related to thermal insulation are getting more widespread, although they concern insulation used in ceiling,³ or in horizontal position.⁴ Simulations of facade fire can also be found,⁵ but the effect of radiant heat is not investigated yet.

¹ Student, Ludovika University of Public Service, Student, e-mail: gabriella.laszlo30@gmail.com

² TÓTH-PATAKI 2021.

³ HEONG-WON et al. 2019.

⁴ PRASAD et al. 2009.

⁵ HOFMANN et al. 2018.

However, laboratory tests have shown that radiant heat causes heat development in different polystyrene insulations – in expanded polystyrene insulation⁶ as well as in extruded and in graphite expanded polystyrene insulation.⁷ This can have a serious impact on the fire load calculation, as it can increase the amount of fire load, which e.g. in the case of a warehouse can even be significant.

In addition, for the calculation of fire load, the annex to a legislation based on an earlier standard provides a single calorific value (H_f) for polystyrene, although nowadays there are many⁸ types of polystyrene, with different additives and production technology. Hence, their burning properties may differ, not to mention that new materials and innovations – such as organic insulations⁹ or recycled plastic and polystyrene insulations¹⁰ – are coming continuously, especially now that environmental protection aspects are being more and more emphasised.¹¹

The purpose of this paper is to study the heating value of various polystyrenes. The behaviour of EPS with graphite additive (GPS) and XPS polystyrene is investigated under the influence of direct radiant heat. The simulation reconstruction of a previous laboratory test¹² and the comparison of their results with values calculated according to the legislation are presented.

Simulation reconstruction of a laboratory experiment

In a numerical environment one GPS and XPS sample was tested, from both types a sample with dimensions of 100 × 100 × 140 mm. The simulation test was performed using FDS software. The simulation environment was designed according to the laboratory test.¹³ As a source of radiant heat, one of the planes of the model space has been set (yellow surface in Figure 1).

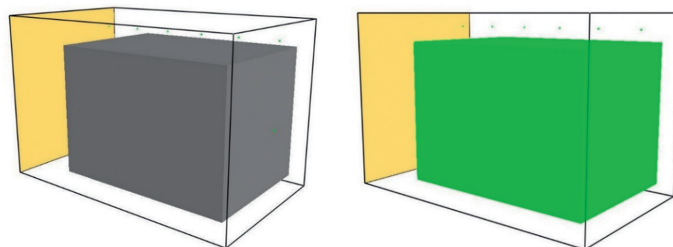


Figure 1: The simulation models – GPS left, XPS right

Source: compiled by the author

⁶ HAJDU et al. 2021b.

⁷ LÁSZLÓ 2024.

⁸ Government Decree 239/2011 (XI. 18.).

⁹ ZHOU et al. 2022.

¹⁰ FARD–ALKHANSARI 2021.

¹¹ ABU–JDAYIL et al. 2019.

¹² LÁSZLÓ 2024.

¹³ LÁSZLÓ 2024.

The simulation time was 600 s according to the laboratory measurement.¹⁴ The measurement points were also the same as the composition made up in the laboratory (Figure 2): the thermocouples were placed at 3 cm from each other in the samples and a thermal sensor in front of the specimen was located in line with the specimen at 5 cm from the heat source.¹⁵ The mesh size was $5 \times 5 \times 5$ mm (Figure 3), based on literature experiences and previous own experience.¹⁶

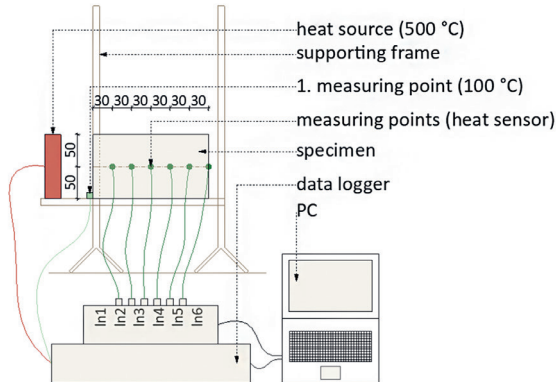


Figure 2: Sketch of the measurement

Source: compiled by the author

In the simulation there are two options for defining fire. One is to give the fire with the value of HRRPUA (heat release rate per unit area).¹⁷ In this case, it is relatively easy to adjust the parameters of the fire and the model can be easily validated with a Cone-calorimeter measurement.¹⁸ The other option is to give the properties of substances, and the source of ignition is a spark.¹⁹ In this case, the spread of fire depends entirely on the properties of combustible materials.²⁰ The latter method was chosen, so the properties of the materials had to be specified. The following material properties were defined in the simulation: heat of consumption, heat of reaction, conductivity, specific heat, density. Unfortunately, as it was mentioned previously, literature provides different data on the material properties of polystyrene, so the exact adjustment and calibration of the simulation itself is a separate research task and one of my other goals.

¹⁴ LÁSZLÓ 2024.

¹⁵ LÁSZLÓ 2024.

¹⁶ HAJDU et al. 2021a.

¹⁷ TAKÁCS 2013.

¹⁸ AHN-KIM 2011.

¹⁹ MCGRATTAN et al. 2019.

²⁰ See: <https://fdstutorial.com/your-first-fds-simulation>

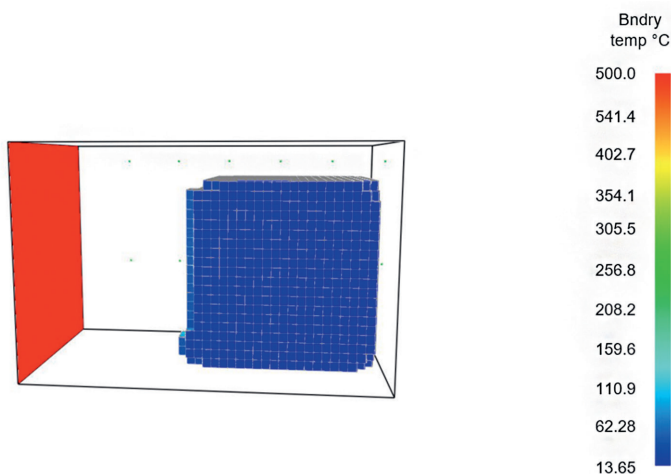


Figure 3: Meshing of the model
 Source: compiled by the author

The graph below (Figure 4) shows the simulation results of the GPS sample compared to the temperature values of the laboratory experiment. Based on the results, it can be said that the processes were more even and consistent in the laboratory than it is experienced in the simulation. The maximum values of the temperature in the simulation are lower than in reality. However, the time to reach the maximum value is about the same in In1 sensor.

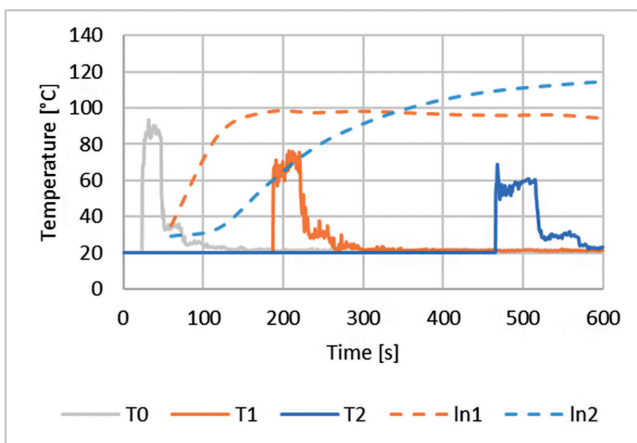


Figure 4: Simulation and laboratory results of the GPS sample
 Source: compiled by the author

The following graph (Figure 5) shows a comparison of the XPS sample. The results were similar. Based on them, further refinement of the definition of substances is needed.

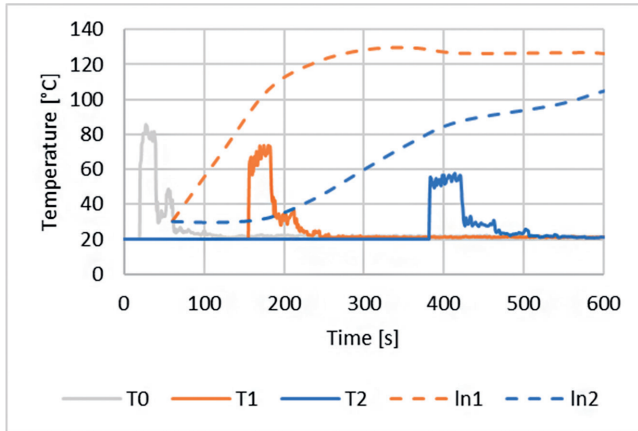


Figure 5: Simulation and laboratory results of the XPS sample

Source: compiled by the author

Comparison of released heat and calorific values

The heating value (H) is an important data in terms of calculating fire load of any facility. This section presents a comparison of the heating value (H) for the GPS and XPS sample with dimensions of 100 × 100 × 140 mm calculated based on literature data, the laboratory and the simulation results.

The parameters of the specimens are in Table 1.

Table 1: Parameters of GPS and XPS sample

	PARAMETERS	
	GSP	XPS
volume [cm ³]	1400.00	1400.00
weight [g]	21.74	46.19
density [g/cm ³]	0.02	0.03
specific heat (c) [kJ/kg × K]	1.40	1.50
heating value (Hi) [MJ/kg]	40.61	40.61
weight loss in laboratory test [g]	0.18	0.33
temperature change in laboratory (ΔT) [°C]	91.00	119.00
temperature change in simulation (ΔT) [°C]	76.98	65.88

Source: compiled by the author based on Government Decree 239/2011 (XI. 18.) product data sheets, LÁSZLÓ 2024 and simulation results

In Table 1 the volume, the weight and the density are measured and calculated before the laboratory test. The temperature changes are measured during the laboratory²¹ and

²¹ LÁSZLÓ 2024.

simulation tests. The specific heat is based on product data sheets, and the heating value is based on literature.²²

In order to obtain the heating value (H), the released heat (Q) has to be defined first. The amount of heat released (Q) can be calculated based on two different equations:

$$Q = M_i H_i \quad (1)$$

where M_i is the mass of the i -th substance [kg], H_i is the heating value of the i -th substance [MJ/kg]. This equation gives a theoretical, maximum heat value of the combustion released in clear oxygen during perfect combustion.

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T \quad (2)$$

where c is the specific heat [J/kgK], m is the mass of the substance [kg] and ΔT [°C] is the temperature change. This equation gives a real heat value of the combustion released during incomplete combustion at 21% oxygen.

With these equations, the amount of heat released (Q), the temperature change (ΔT) and the heating value (H) can be calculated based on both the literature data,²³ the laboratory²⁴ and the simulation results. In the case of the literature, a clear data for heating value (H) is given for polystyrenes, which is 40,61 MJ/kg,²⁵ as one can see in Table 1 above.

So, in the first step I calculated the amount of heat (Q) using formula (1) based on this H value. In the laboratory tests, the temperature change (ΔT) could be measured. To compare the laboratory experiences with the literature, the temperature change has been calculated with the (2) formula as the next step.

The laboratory calculations are based on the measured temperature change (ΔT). During the examination the whole specimen was not combusted, hence in the calculations, the measured weight loss was used as the weight of the specimen. Firstly, the amount of heat released (Q) has been calculated using formula (2), and then applying formula (1), I obtained the heating value (H_i).

In the simulation the ΔT was measured also, therefore the steps of the calculation was the same as in the case of the laboratory.

It is interesting to compare the amount of heat released based on this value with the simulation, as well as comparing the temperature difference between the laboratory and the simulation results (Figure 6 and Figure 7). It can be seen that the results of the simulation and the lab, although they are different but also, they are close to each other. However, the values calculated according to literature are significantly inferior to those that we have experienced in reality in all respects. Only the amount of heat released (Q) is lower in the lab than according to the literature, but it is so different because the entire mass was not burned

²² Government Decree 239/2011 (XI. 18.).

²³ Government Decree 239/2011 (XI. 18.).

²⁴ LÁSZLÓ 2024.

²⁵ Government Decree 239/2011 (XI. 18.) Annex 4.

there, so a smaller amount of heat was released by definition. It also must be mentioned that in the laboratory an imperfect combustion was examined, while the literature is based on perfect combustion, this can also lead to a difference. The most important fact, it seems, that the heating value is higher in the reality than according to the literature.

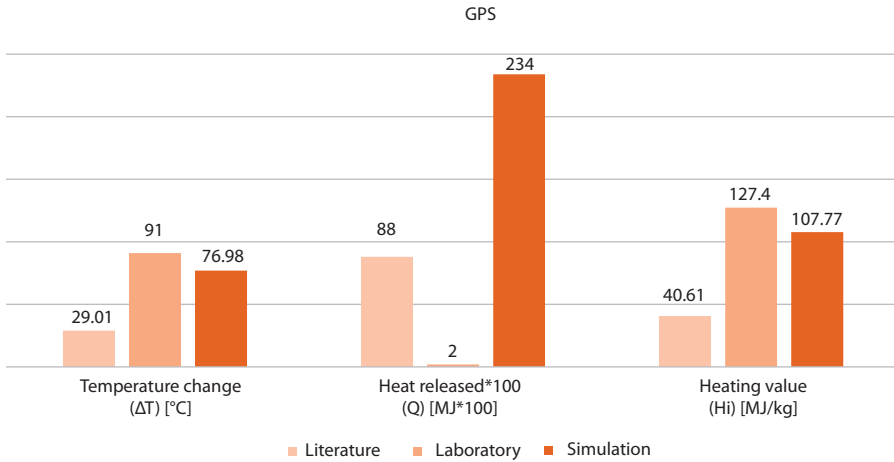


Figure 6: Comparison of GPS sample values
Source: compiled by the author

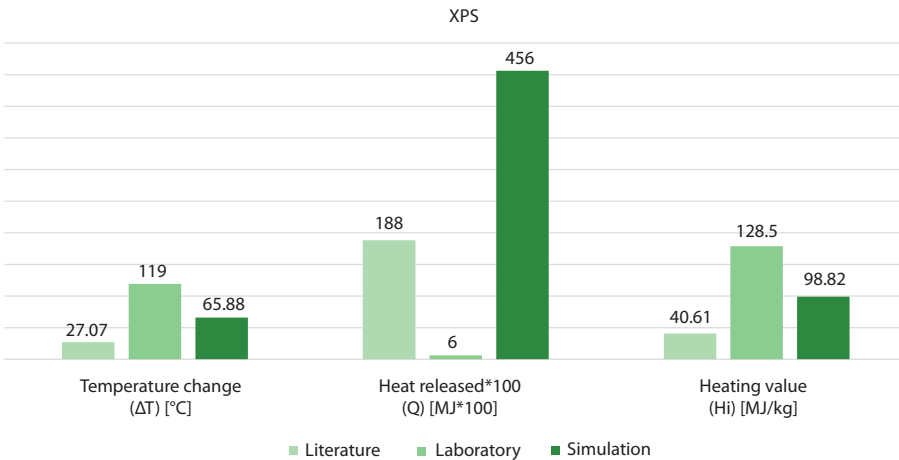


Figure 7: Comparison of XPS sample values
Source: compiled by the author

To make it more realistic what these differences would mean, the fire load of an average warehouse was calculated and examined. The hypothetical warehouse has average size and GPS and XPS thermal insulation is stored in it (Figure 8).

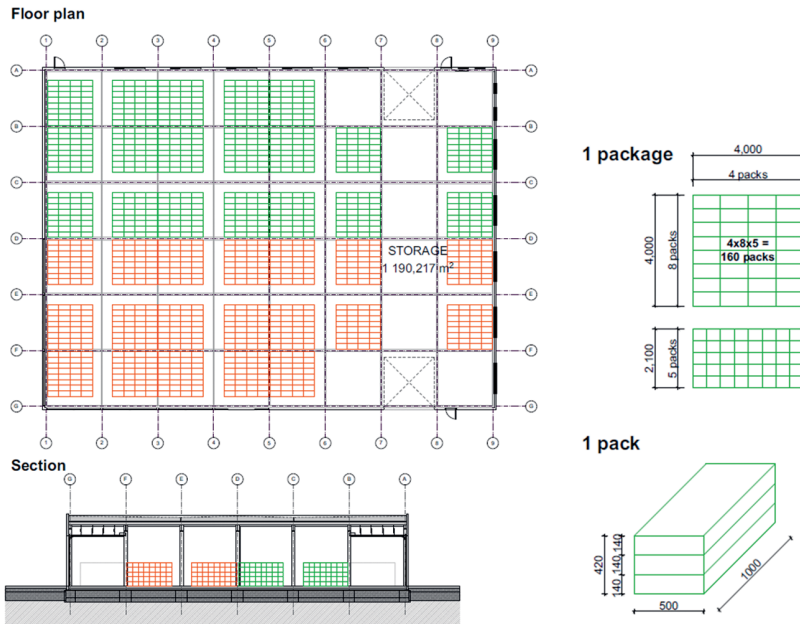


Figure 8: Floor plan (top left), section (bottom left) and storage of thermal insulation boards in packs (bottom right) and packages (top right)

Source: compiled by the author

Thermal insulation is stored as follows: in one pack there are 3 boards, and the packs are arranged in packages of 4 × 8 × 5 pieces. There are 19–19 packages of EPS and XPS.

The fire load of the warehouse can be calculated by the formula:²⁶

$$p = \sum_{i=1}^j \frac{M_i H_i}{S} \quad (3)$$

where:

p value of the fire load

M_i mass of the i -th substance [kg]

H_i the i -th amount of heat released during combustion from 1 kg of weight of the material [MJ/kg]

S area of the building / part of the building [m²].

Performing the calculations, it can be seen that the value of the fire load, based on what we experienced in the lab, is almost three times higher than the literature values²⁷ (Table 2). The fire load values calculated on the basis of simulation and laboratory data converge quite well, but to obtain quite accurate values, further development of the simulation is necessary.

²⁶ Government Decree 239/2011 (XI. 18.); KREISZ 1987.

²⁷ Government Decree 239/2011 (XI. 18.).

Table 2: Initial data of the calculation and the fire load of the hall based on literature (blue colour), laboratory tests (orange colour) and simulation (green colour)

	GPS	XPS
Insulation board [pcs]	10,080	10,080
Weight of 1 pc board [kg]	1.09	2.31
Total weight of insulation [kg]	10,987.20	23,284.80
Area [m ²]	1,190.22	1,190.22
Heating value (HL) [MJ/kg]	40.61	40.61
Heating value (HM) [MJ/kg]	127.40	178.50
Heating value (HS) [MJ/kg]	107.77	98.92
Fire load (TL) [MJ/m ²]	374.88	794.47
Fire load (TM) [MJ/m ²]	1,176.06	3,492.07
Fire load (TS) [MJ/m ²]	994.87	1,935.22

Source: compiled by the author

Summary

The results of the reconstruction of laboratory tests in a simulation environment suggest that further studies of the combustion properties of polystyrene are required for the calibration of the simulation. However, the simulation results produced closer values when calculating the heating value or the fire load of a warehouse than the results obtained from the literature data.

Calculations confirm that examining the combustible properties of various polystyrenes is a topical and important issue. In order to know more accurately this phenomenon, it is necessary to conduct additional studies. The analysis of the fire load calculation and increase of fire safety in industrial buildings is promoted with this research.

References

- ABU-JDAYIL, Basim – MOURAD, Abdel-Hamid – HITTINI, Waseem – MUZAMIL, Hassan – SUHAIB, Hameedi (2019): Traditional, State-of-the-Art and Renewable Thermal Building Insulation Materials: An Overview. *Construction and Building Materials*, 214, 709–735. Online: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.102>
- AHN, Chan-sol – KIM, J. Y. (2011): A Study for a Fire Spread Mechanism of Residential Buildings with Numerical Modeling. *WIT Transactions on the Built Environment*, 117, 185–196. Online: <https://doi.org/10.2495/SAFE110171>
- FARD, Parastoo Moghaddam – ALKHANSARI, Maryam Gharavi (2021): Innovative Fire and Water Insulation Foam Using Recycled Plastic Bags and Expanded Polystyrene (EPS). *Construction and Building Materials*, 305. Online: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124785>
- HAJDU, Flóra – LÁSZLÓ, Gabriella – KERÉKES, Zsuzsanna – CSAPAIÓVÁ, Nikolett – KUTI, Rajmund (2021a): Examination Initial Parameters of Fires for Fire Spread Simulations. *Védelem Tudomány*, 6(3), 125–136. Online: <https://ojs.mtak.hu/index.php/vedelemtudomany/article/view/13730/11176>
- HAJDU, Flóra – LÁSZLÓ, Gabriella – KUTI, Rajmund (2021b): Heat Radiation Effects on Insulating Materials Used in Buildings. *Pollack Periodica*, 16(3), 108–113. Online: <https://doi.org/10.1556/606.2021.00377>

- HEONG-WON, Suh – SU-MIN, Im – TAE-HOON, Park – HYUNG-JUN, Kim – HONG-SIK, Kim – HYUN-KI, Choi – JOO-HONG, Chung – SUNG-CHUL, Bae (2019): Fire Spread of Thermal Insulation Materials in the Ceiling of Piloti-Type Structure: Comparison of Numerical Simulation and Experimental Fire Tests Using Small- and Real-Scale Models. *Sustainability*, 11(12). Online: <https://doi.org/10.3390/su11123389>
- HOFMANN, Anja – KAUELKA, Sven – HAUSWALDT, Sebastian (2018): Fire Safety of Façades with Polystyrene Foam Insulation. *Fire and Materials*, 42(5), 466–474. Online: <https://doi.org/10.1002/fam.2662>
- KREISZ, György ed. (1987): *Tűzvédelem III. Tűz megelőzés* [Fire Protection III Fire prevention]. Budapest: Szabványkiadó.
- LÁSZLÓ, Gabriella (2024): The Effect of Radiant Heat on Polystyrene Thermal Insulation Materials. *Műszaki Katonai Közlöny*, 34(1), 117–128. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2024.1.8>
- MCGRATTAN, Kevin – HOSTIKKA, Simo – FLOYD, Jason – MCDERMOTT, Randall – VANILLA, Marcos (2019): *Fire Dynamics Simulator User's Guide*. NIST Special Publication Sixth Edition. Online: <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1019>
- PRASAD, Kuldeep – KRAMER, Roland – MARSH, Nathan – NYDEN, Marc – OHLEMILLER, Tom – ZAMMARANO, Mauro (2009): *Numerical Simulation of Fire Spread on Polyurethane Foam Slabs*. Conference: Proceedings of the Fire and Materials Conference, San Fransisco, CA, January 26–29. Online: https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=901154
- TAKÁCS, Lajos Gábor (2013): *Alacsony energiaigényű épületek tüzeseti tapasztalatai* [Fire Experience in Low-Energy Buildings]. BME Építésztechnológiai Kar Épületszerkezet-tani Tanszék. Online: www.vedelem.hu/letoltes/document/9-alacsony-energiaigenyu-epuletek-tuzeseti-tapasztalatai.pdf
- TÓTH-PATAKI, Zsófia (2021): *Polisztirol alapú homlokzati rétegek viselkedése sugárzó hővel szemben* [Behaviour of Polystyrene-Based Facade Layers against Radiant Heat]. Budapest: Óbudai Egyetem Ybl Miklós Építéstudományi Kar.
- ZHOU, Yaping – TRABELSI, Abdelkrim – EL MANKIBI, Mohamed (2022): A Review on the Properties of Straw Insulation for Buildings. *Construction and Building Materials*, 330. Online: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127215>

Legal source

- 239/2011. (XI. 18.) Korm. rendelet az önkormányzati és létesítményi tűzoltóságokra, valamint a hivatásos tűzoltóság, önkormányzati tűzoltóság és önkéntes tűzoltó egyesület fenntartásához való hozzájárulásra vonatkozó szabályokról [Government Decree 239/2011 (XI. 18.) on the rules for municipal and facility fire brigades, as well as the contribution to the maintenance of professional fire brigades, municipal fire brigades and voluntary fire brigade associations]

Györki Gábor¹ 

Utókezelési technológiák és lehetséges alkalmazhatóságuk egyedi szennyvíztisztító kisberendezésekben²

Post-Treatment Technologies and Possible Implementations in Onsite Wastewater Treatment Systems

Napjainkban évente több száz milliárd köbméter szennyvíz keletkezik világszerte. Az emberiség évezredek óta kezeli a szennyvizet különböző módszerekkel, viszont a rohamos ipari fejlődéssel, új anyagok kifejlesztésével és széles körű felhasználásukkal olyan szennyező anyagok is megjelentek a szennyvizekben, amelyek eltávolítására a jelenleg elterjedten alkalmazott technológiák nem képesek. Ezeknek a gyakran nem biodegradálható, toxikus, környezetre és emberi egészségre káros anyagoknak a kezelésére ipari szennyvizek esetén már használnak új technológiákat, főleg oxidáción alapuló utókezeléseket és fertőtlenítést. E problémát jelentő anyagok viszont nem csak az iparban fordulnak elő, így a lakossági szennyvizek kezelésére is ki kell terjeszteni a megfelelő technológiákat egyszerű, biztonságos és költséghatékony formában. Kiemelt prioritású az ilyen irányú technológiai fejlesztés, mivel az újrafelhasznált, valamint környezetbe engedett szennyvíz mennyisége egyre nő, ezzel együtt pedig folyamatosan halmozódnak fel a szennyezők a természetes és épített környezetben.

Kulcsszavak: szennyvíztisztítás, utókezelés, oxidáció, új szennyezők, egyedi szennyvíztisztító kisberendezések

Billions of cubic meters of wastewater are generated worldwide every year. Some methods of wastewater management have been in use for millennia. However, the rapid industrial development,

¹ Nemzeti Közszolgálati Egyetem Víz tudományi Kar Vízi Környezettudományi Tanszék; Nemzeti Közszolgálati Egyetem Víz tudományi Kar Víz tudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium, e-mail: gyorki.gabor@uni-nke.hu

² A cikkben bemutatott kutatás a Széchenyi Terv Plusz program keretében az RRF-2.3.1-21-2022-00008 számú projekt támogatásával valósult meg.

the invention of new substances, and their extensive use have introduced pollutants into wastewater that cannot be removed by the currently used technologies. In the case of industrial wastewaters, new technologies, primarily based on oxidation and disinfection, are used to remove toxic, often non-biodegradable substances that are harmful to the environment and human health. However, these problematic substances are not limited to industrial settings, such technologies need to be extended to treat domestic wastewater in a simple, safe, and cost-effective manner. Developing these technologies must also be prioritised, given the increasing volume of wastewater recycled and released into the environment, continuously accumulating pollutants in the natural and built environment.

Keywords: wastewater treatment, post-treatment, oxidation, contaminants of emerging concern, onsite wastewater treatment systems

A szennyvíztisztítás fejlődése

A szennyvízkezelés korai története

A szennyvízkezelés évezredes múltra tekint vissza, értelemszerűen kezdetben az emberi egészség védelme érdekében kezdtek el foglalkozni a szennyvízzel. A letelepedett közösségek felgyülemlett hulladéka problémává vált, a legegyszerűbb mód ennek megoldására a szennyvíz elvezetése volt. Közel 5500 évvel ezelőtt Mezopotámia néhány lakóházának már volt lefolyója és szennyvíztározója, az Indus-völgyi civilizációban pedig szűrést és ülepitést alkalmaztak a szennyvíz közvetlen környezetbe engedése előtt. Az ókori Görögországban az összegyűjtött szennyvizet elvezették, és a termőföldeken öntözésre használták fel.³

Bár a veszélyes, betegséget okozó anyagok így az emberi élőhelyektől távolra kerülnek, a természetes környezetre jelentett kockázatok ezzel nem szűnnek meg. A múltban a kisebb népsűrűség miatt ez nem jelentett nagy problémát, a természetes lebontó és átalakító folyamatok megbirkóztak a szennyezéssel, és a ma ismert, kockázatot jelentő, gyakran szintetikus szennyező anyagok nagy része még nem létezett.⁴ A szennyvízzel járó környezetszennyezés és egészségügyi problémák akkor kezdődtek, amikor ugrásszerűen megnőtt a keletkezett szennyvíz mennyisége. Ezzel nagyjából egy időben megjelentek olyan szennyezők, amelyeket a természetes folyamatok már nem voltak képesek eltávolítani, legalábbis olyan magas koncentrációban nem, amelyben ezek a környezetbe kerültek.⁵ Ez az iparosodás és városiasodás korára tehető, a szivattyú és a gőzgép feltalálása után korlátlan mennyiségű víz állt például a fellendülő vegyipar és a lakosság rendelkezésére.⁶ A 20. században nagy fokú fellendülés indult a szennyvíz elvezetését és kezelését célzó projektekben és törvényalkotásban, definiálták a fő szennyvízparamétereket, és felgyorsultak a tisztítást célzó kutatások.⁷

³ LOFRANO–BROWN 2010.

⁴ SARMA 2018.

⁵ LOFRANO–BROWN 2010.

⁶ JUHÁSZ 2011.

⁷ GENE 2009.

A szennyvíztisztítás jelentősége napjainkban

Napjainkban a világon körülbelül 380 milliárd köbméter lakossági szennyvíz keletkezik évente, ami várhatóan 24%-kal fog emelkedni ebben az évtizedben, és 51%-kal 2050-ig. Ez csak a háztartásokban keletkező szennyvizet foglalja magába, az iparban keletkezett szennyvizet, technológiai vizeket nem.⁸ Ez olyan mennyiségű szennyeződést jelent, amelyet a természet nem képes kezelni, így elengedhetetlen a lehető legjobb hatásfokú szennyvíztisztítás. A szennyvízikibocsátás veszélyezteti a felszíni és felszín alatti vízbázisokat, a vízi és szárazföldi élőhelyeket, valamint termőföldeket. Bár a szennyvízzel való öntözés gyakori, az ezredforduló óta kezdenek előtérbe kerülni a kezelt szennyvíz további felhasználási formái. A mezőgazdaságon kívül széleskörűen alkalmazható az iparban is, felhasználható az építőiparban, papír-, műanyag- és fémgyártásnál, valamint üzemekben hűtővízként. A háztartásokban használható többek között toalettblítésre, tisztításra, autómosásra és kerti öntözésre. A vízkészletek újratöltése és kezelés után a közvetlen ivóvízként való hasznosítása is egyre elterjedtebb.⁹ Ilyen esetekben különösen fontos a megfelelő tisztítás biztosítása, mivel az újrafelhasznált szennyvíz minden esetben közvetlenül vagy közvetetten érintkezésbe kerül az emberrel.¹⁰ Az utóbbi időkben az ipari tevékenységek és termékek által számos olyan új szennyező kerül a szennyvizekbe, amelyeket a szokványos szennyvíztisztítási technológiák nem képesek eltávolítani. E hiányosságok pótlására egyre gyakrabban alkalmaznak úgynevezett utókezeléseket vagy utótisztításokat, amelyek célja a fő tisztítási lépések után esetlegesen visszamaradt szennyezők és a másodlagos szennyezők eltávolítása, a fertőtlenítés, vagy a határértékek eléréséhez szükséges, általánosan jobb minőségű elfolyó előállítás. A szakirodalom használja a *post-treatment* (utókezelés) és *tertiary treatment* (harmadlagos tisztítás, amely a magyar szakirodalomban negyedleges tisztításként jelenik meg) fogalmat is, viszont ezek jelentése megegyezik, a biológiai lebontás után alkalmazott változatos, gyakran új fejlesztésű technológiákat foglalják magukban.¹¹ A centralizált szennyvíztisztító telepek mellett ezenkívül egyre népszerűbbé válnak az úgynevezett egyedi szennyvíztisztító kisberendezések (ESZKB) is. Ezek olyan decentralizált, többnyire kis méretű szennyvíztisztító rendszerek, amelyek egy-egy háztartás, épület vagy létesítmény szennyvizét kezelik a keletkezés helyén, általában kis léptékben. Leggyakrabban biológiai tisztítást (például eleveniszapos technológiákat) alkalmaznak, ezt követően a fázisszeparáció után elfolyó vizet elszikkasztják, esetenként öntözésre használják. Hazánkban is egyre elterjedtebb az ilyen berendezések telepítése főleg olyan településeken és területeken, ahol nem áll rendelkezésre csatornahálózat vagy központi szennyvíztisztító létesítmény.¹² Mivel e berendezések tisztított vize is a környezetbe kerül vagy emberrel érintkezhet, célszerű megvizsgálni, mely utótisztítási technológiák alkalmazhatók sikeresen ezen a területen. Jelen tanulmány célja, hogy áttekintse a gyakorlatban alkalmazott főbb utókezelési lehetőségeket, és megvizsgálja ezek alkalmazhatóságát az ESZKB-k esetén.

⁸ Environment and Natural Resources Department 2022.

⁹ CHFADI–GHEBLAWI–THAHA 2021; DUONG–SAPHORES 2015.

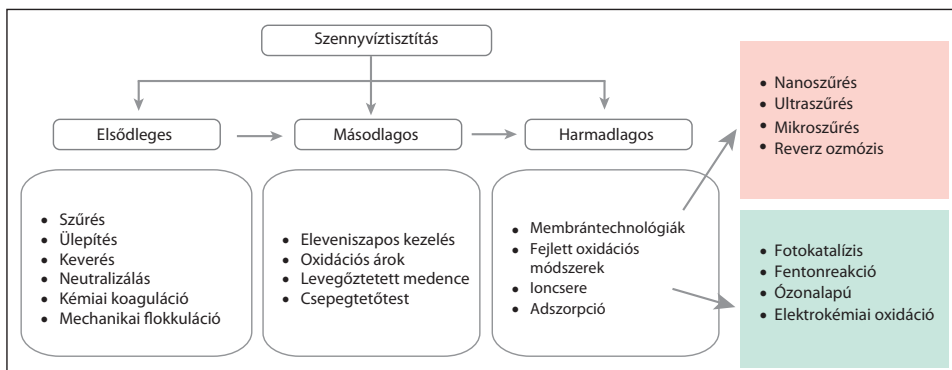
¹⁰ CHERNICHARO 2006.

¹¹ SAFARI et al. 2013.

¹² GYÖRKI – PÁLNÉ SZÉN – KNISZ 2023.

Szennyvíztisztítási technológiák

A szennyvizek tisztításához az évek során számos különböző technológia jött létre. A legegyszerűbb csoportosítás alapján megkülönböztetünk fizikai, kémiai, biológiai, valamint kombinált módszereket. A fizikai módszerek közé tartozik többek között az ülepités, flotálás, rács- és membránszűrés, ultraszűrés és reverz ozmózis, valamint az adszorpció. Ritkábban alkalmazott technológiák a szárítás, égetés, kifagyasztás és a dialízis. A kémiai módszerek közé tartozik az egyszerű pH-kontroll, a koaguláció, vízlágyítás, ioncsere, a vegyszeres redukció és az oxidáció, valamint a kémiai fertőtlenítés. A biológiai módszerek technológiájukat tekintve összetettebbek az előzőknél, mivel élő szervezeteket vagy ezek termékeit használja a tisztításhoz. A legelterjedtebb biológiai módszerek a különböző eleveniszapos technológiák, amelyek változatos, jó lebontási képességű baktériumok közösségét alkalmazzák.¹³ Mivel a szennyvizek eredetüket tekintve rendkívül összetettek lehetnek, az ezek tisztítására kifejlesztett modern technológiai sorok általában tartalmaznak fizikai, biológiai és kémiai lépéseket is. A technológiai sor lépései logikus módon úgy vannak összeállítva, hogy az egyik lépés elfolyó vize az azt követő lépés befolyó vize lehessen. A durva fizikai szűrések a sor elején biztosítják, hogy a következő lépésekben a kezelendő szennyvíz homogén legyen, illetve szilárd részecskék kevésbé zavarják a berendezést vagy berendezéseket. Hasonlóképpen, az esetleges vegyszeres kezelésnek (például utólagos klórozás) ajánlott a legvégső lépésnek lenni, hogy a vegyszerek ne akadályozzák a biológiai tisztítás hatékonyságát. A kombinált technológiákat gyakran tárgyalják tisztítási fokozatokra osztva, ahol az elsődleges tisztítás fizikai, a másodlagos biológiai, a harmadlagos pedig főleg kémiai kezelést jelent (1. ábra).



1. ábra: Szennyvíztisztítási lépések felosztása

Forrás: a szerző szerkesztése SHINDHAL et al. 2021 alapján

¹³ KARCHES 2020; PATWARDHAN 2017.

Az utóbbi években, évtizedekben megjelent negyedleges tisztítás vagy „utókezelés” egyre nagyobb jelentőséget kap. Ez főleg az újonnan megjelent, első három lépésben nem, vagy csak nehezen kezelhető antropogén szennyezők eltávolítását szolgálja, mint az úgynevezett új szennyezők (*contaminants of emerging concern*, CEC), mikroműanyagok, szerves és szervetlen mikroszennyezők, gyógyszermaradványok, nehézfémek, radioaktív szennyezők, antibiotikum-rezisztencia-gének (ARG) és az ezekhez kapcsolódó antibiotikumrezisztens baktériumok (ARB). Erre alkalmazható többek között aktív szén adszorpció, membránszűrés, kémiai kicsapás, fejlett oxidációs módszerek (*advanced oxidation processes*, AOP) és a biológiai nehézfémmegkötés, valamint ezek kombinációja is.¹⁴

Utókezelések jelentősége

A kezelt, elfolyó szennyvíz minősége az alkalmazott technológiáktól és a szennyvíz kezdeti minőségétől függ, de minden szennyező, főleg az új szennyezők tökéletes eltávolítása nem elvárható a jelenlegi módszerektől. Az ipari szennyvizek olyan szintetikus, szerves anyagokat tartalmazhatnak, amelyek nem biodegradálhatók, vagy egyenesen toxikusak az élő rendszerek számára. A háztartási szennyvizek is gyakran tartalmaznak ilyen anyagokat, fertőtlenítőszer, tisztítószer, kozmetikai készítmények, gyógyszerek formájában.¹⁵ Az antibiotikum rezisztenciára egyre nagyobb figyelem fordul, a szennyvizekben ARG-k és ARB-k is megtalálhatók, amelyek globális szinten jelentenek kockázatot.

A környezetbe engedhető és újrafelhasznált szennyvizekre vonatkozó jogszabályi előírások jelenleg nem állnak összhangban a szennyvizek nagy fokú összetettségével és változatosságával. Ebből adódóan számos olyan szennyező (legyen az kémiai vagy biológiai eredetű) monitorozása nem kötelező, amely megtalálható a szennyvizekben. Az előírások hiánya miatt ezek nagy eséllyel el is jutnak a természetbe vagy a felhasználási helyre, hatásuk egyelőre kevésbé ismert, előre nem látható károkat okozhatnak. Az 50/2001. Korm. rendelet rendelkezik a szennyvíz és szennyvíziszap mezőgazdasági felhasználásáról, meghatároz kötelezően monitorozandó paramétereket, és maximális határértékeket is megszab.¹⁶ A 27/2005. KvVM rendelet a használt vizek és szennyvizek kibocsátásáról rendelkezik, az előző renDELETEH hasonlóan leírja a kötelezően vizsgált paramétereket, és maximális határértékeket határoz meg.¹⁷ A mérendő paraméterek listájából látható, hogy a két rendelet tartalmazza a nehézfémeket, az összes ásványi szénhidrogént (TPH), policiklusos aromás szénhidrogéneket (PAH) és poliklórozott bifenilek (PCB) és bakteriális paramétereket, a 27/2005. rendelet pedig néhány peszticidet is. Egyik sem írja elő azonban a gyógyszermaradványok, mikroműanyagok, ARG-k és ARB-k és számos további új szennyező mérését. A kibocsátásra vonatkozó rendelet előírja

¹⁴ Environment and Natural Resources Department 2022; KNISZ 2020; UMAR 2022.

¹⁵ EGBUIKWEM–MIERZWA–SAROJ 2020; UMAR 2022.

¹⁶ 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet.

¹⁷ 27/2005. (XII. 6.) KvVM rendelet.

ökotoxikológiai tesztek elvégzését, azonban ez nem elégséges minden, a listából hiányzó, de aggodalomra okot adó anyag monitorozásának kiváltására. A két rendeletet összehasonlítva továbbá észrevehető, hogy a mezőgazdasági felhasználásra szánt szennyvíznek és szennyvíziszapnak kevesebb paraméternek kell megfelelni, mint a kibocsátott szennyvíznek. Ez a kevésbé szigorú előírás nem megalapozott, egyrészt a mezőgazdasági területekről a nehezen bomló vagy nem bontható szennyezők könnyen bekerülnek a talajba és a felszíni, illetve felszín alatti vizekbe, másrészt ezeket felvehetik a növények, vagy megtapadhatnak rajtuk, így bejutnak az élelmiszerláncba.¹⁸ Az utókezelések egy lehetséges megoldást kínálnak az ilyen, jelenleg nem monitorozott paraméterek eltávolítására.

Az utókezelés lehetőségei

Ha a konvencionális tisztítási lépésekkel nem távolítható el minden típusú szennyező, vagy nem érhető el megfelelő hatékonyságú tisztítás, be kell iktatni valamilyen utókezelési technológiát. Ennek típusa és léptéke a tovább tisztítandó szennyvíz pontos összetételétől és mennyiségétől függ, továbbá meghatározza az, hogy befogadóba kerül vagy felhasználják-e. Többnyire fizikai-kémiai technológiák terjedtek el, de biológiai és kombinált módszerek is ismertek (2. ábra). A fejezetben a szakirodalomban leggyakrabban előforduló típusokat mutatjuk be.

Fizikai

- Szűrési technológiák
- Adszorpciós eljárások
- UV-besugárzás

Kémiai

- Kémiai kicsapás
- Egyszerű vegyszeres oxidáció
 - Klórozás
 - Hidrogén-peroxidos kezelés
 - Ózonozás

Biológiai

- Biológiai nehézfém-megkötés

Kombinált

- Fejlett oxidációs módszerek
- Természetközeli megoldások
- Tározás

2. ábra: A főbb utókezelési technológiák csoportosítása

Forrás: a szerző szerkesztése

¹⁸ GUPTA–KHAN–SANTRA 2010.

UV-besugárzás

Az UV-besugárzás alapvetően jó módszer a fertőtlenítésre és az utólagos oxidációra, mivel nem igényel vegyszereket, így ezek tárolását, szállítását, manuális vagy automata adagolását sem, ezáltal relatíve biztonságos. A tanulmányok túlnyomó többsége szerint legnagyobb előnye, hogy nem képez fertőtlenítési melléktermékeket,¹⁹ így általában nem szükséges további lépéseket beiktatni. Ezzel szemben, mivel más oxidációs módszerekhez hasonlóan az UV-besugárzás is létrehoz szabad hidroxilgyököket, a szennyvíz összetételétől függően ez esetben is fennáll a melléktermékek képződésének lehetősége.²⁰ Ezenkívül egy kutatás rávilágított, hogy a szerves anyagok UV-fény hatására olyan szerkezetváltozáson mehetnek keresztül, amely során megnő a szabad klórral való reaktivitásuk, így elősegítve a klórozási melléktermékek képződését.²¹ Fertőtlenítés szempontjából előnyös, hogy az UV-fény a klórnak ellenálló baktériumok ellen is hatásos,²² de a besugárzás után fotoreaktiváció léphet fel, és a baktériumok fotolízis enzime megjavítja az UV hatására létrejött DNS-hibákat.²³ DNS-károsító hatása miatt antibiotikum-rezisztencia-gének inaktiválására is alkalmas.²⁴ Hátránya viszont, hogy a víz UV-elnyelése magas, így egy átlagos teljesítményű UV-lámpával csak néhány centiméter vastagságú vízréteget lehet kezelni. Hasonlóképp, minden szilárd szennyeződéssel elnyeli az UV-sugárzást, így csak megfelelően szűrt, homogén szennyvíz kezelésére alkalmas.²⁵ Fontos megemlíteni, hogy az irodalmi adatok között jelentős a szórás, a hatékony teljesítményre vonatkozó eredmények gyakran egymásnak ellentmondók, és jelentősen függenek attól, pontosan milyen szennyező eltávolítását célozza az UV-kezelés.

Egy szürkevíz-újrahasznosítást vizsgáló tanulmányban azt találták, hogy egy 2,8 mW/cm² teljesítményű lámpával végzett 69 mJ/cm² dózisú UV-besugárzás a baktériumok 100%-át elpusztította egy megfelelően előkezelt szennyvízben, így mikrobiológiailag biztonságos vizet előállítva toalettléptetéshez.²⁶ Egy DNS-fragmenseket célzó kutatásban 18 mJ/cm², illetve 27 mJ/cm² dózis nem volt hatásos a vizsgált DNS-fragmensek elroncsolásához, de a 600, 1248, 3743, illetve a jelentősen magasabb 12 477 mJ/cm² dózis már jó eltávolítási hatékonyságot ért el a legtöbb gén esetén. Vannak azonban olyan rezisztenciát kódoló gének, amelyek sokkal ellenállóbbak az UV-besugárzással szemben. Ilyen a tetraciklin antibiotikum elleni rezisztenciagén, amelynek elroncsolásához a 30 100 mJ/cm² dózisú UV-sugárzás sem volt elegendő.²⁷

¹⁹ FRIEDLER–GILBOA 2010; ZHANG et al. 2023.

²⁰ WERT et al. 2007.

²¹ METCH et al. 2015.

²² FRIEDLER–GILBOA 2010.

²³ ZHANG et al. 2023.

²⁴ UMAR 2022.

²⁵ FRIEDLER–GILBOA 2010.

²⁶ FRIEDLER–GILBOA 2010.

²⁷ UMAR 2022.

Egyszerű vegyszeres oxidáció

Az egyszerű vegyszeres oxidációhoz különböző ágensek használhatók. Ilyenek többek között a klór, a kálium-permanganát, az ózon, valamint a hidrogén-peroxid. Többnyire a reaktív gyökök azok, amelyek a szerves anyagokat kisebb, általában veszélytelenebb molekulákra bontják.²⁸ A nagy mennyiségben keletkező reaktív gyökök miatt itt jelentősen nagyobb figyelmet kapnak a korábban említett fertőtlenítési melléktermékek, mint a trihalometánok, haloecetsavak, szerves halogének,²⁹ valamint aldehidek, ketonok és a bromát.³⁰ Egyszerre vagy egymás után alkalmazott fertőtlenítő módszerek egymásra kifejtett hatását is egyre több tanulmány vizsgálja.³¹

A klóros kezelés széles körben elterjedt, fertőtlenítési célokra és ARG-k, ARB-k eltávolításához hatásos, a magasabb koncentráció nagyobb hatékonyságot eredményez. Kutatások alapján nem célszerű átlépni az 5 mg/l-es koncentrációt, e felett a hatékonyság egyre kisebb lesz, és másodlagos szennyezők megjelenésével is számolni kell.³²

Az ózon direkt módon képes reagálni szerves anyagokkal, emellett reaktív gyököket is képez. Leggyakrabban ózongenerátor által, a kezelés helyszínén előállított ózont buborékoltatnak át a kezelt szennyvízen, átfolyó üzemű rendszert alkalmazva. Biológiai rendszerek hatékonyságának növelésére alkalmazható előkezelésként és utókezelésként is. Előkezelés esetén célja a perzisztens anyagok biodegradálható formákra való bontása, utókezelés esetén a cél a teljes mineralizáció elősegítése, hosszú láncú molekulák elroncsolása. Magas költségek és nagy energiaigény jellemzi, általában előkezelésként való alkalmazását preferálják. Egy kutatásban a biodegradációt követő ózonozás hatékonyságát vizsgálták ipari és háztartási szennyvíz kezelésére. A 45–60 perces behatási idejű, 13 mg/l/perces ózonozással a költségek alacsonyan tartása mellett még elérhető a jogszabályoknak megfelelő szervesanyag-lebontás.³³

Fejlett oxidációs módszerek alkalmazása

Az AOP-k alatt olyan kezelési technológiák kombinációját értjük, amelyek szabad gyökök, főleg hidroxilgyökök képzésén alapulnak. Valós körülmények közötti magas hatékonyságot általában a különböző oxidációs módszerek együttesével érik el, például UV-fotolízissel kombinált klóros vagy hidrogén-peroxidos kezeléssel. A fertőtlenítési melléktermékek keletkezésével számolni kell,³⁴ továbbá az UV-besugárzás és a klór korábban említett egyedi együttes hatásával.³⁵ Nagy léptékben az egyik legjobb módszer a szerves anyagok és DNS-ek lebontására, mikroorganizmusok inaktiválására. ARG-k eltávolítására az UV-besugárzással kombinált klóros kezelés hatékonyabb az egyszerű klóros kezelésnél. A hidrogén-peroxiddal együtt

²⁸ EGBUIKWEM–MIERZWA–SAROJ 2020.

²⁹ YE DU et al. 2017.

³⁰ WERT et al. 2007.

³¹ METCH et al. 2015; WERT et al. 2007.

³² UMAR 2022.

³³ EGBUIKWEM–MIERZWA–SAROJ 2020.

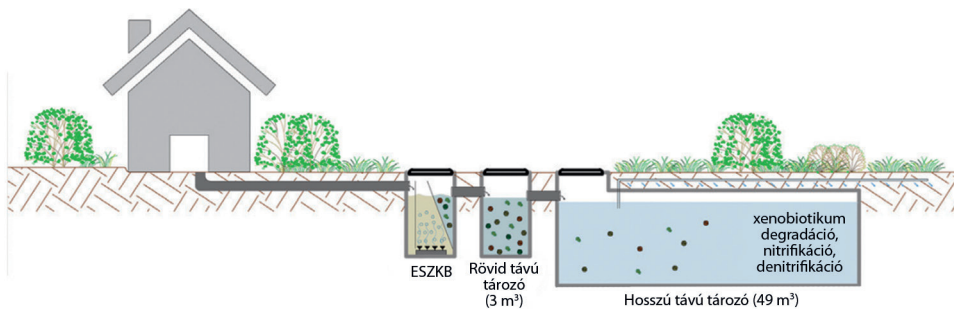
³⁴ WERT et al. 2007.

³⁵ METCH et al. 2015.

alkalmazott UV-besugárzás a leghatékonyabb kombináció, a nagyszámú szabad hidroxilgyök keletkezéséből adódóan.³⁶

Szennyvíz tározása

Az utókezelés egy lehetséges módja lehet a kezelt szennyvíz eltárolása a befogadóba engedés vagy újrafelhasználás előtt. A tározás során végbemenő pontos folyamatokról kevés információ áll rendelkezésre, biológiai átalakítás és feltehetőleg további ülepedés is történik. Néhány kutatás eredményei alapján különböző szennyvízminőségi paraméterek esetében jelentős javulásokat lehet elérni. Egy 2021-es kutatás megvizsgálta egy rövid távú és hosszú távú tározót alkalmazó ESZKB hatékonyságát (3. ábra).



3. ábra: Rövid és hosszú távú tározóval kiegészített ESZKB vázlata

Forrás: a szerző szerkesztése KNISZ et al. 2021 alapján

Az eredmények alapján a rövid távú tározás szignifikánsan javította, a hosszú távú tározás pedig ennél is jelentősebb mértékben javította a hagyományosan vizsgált szennyvízparamétereket (kémiai oxigénigény: KOI, biokémiai oxigénigény: BOI, összes lebegőanyag: TSS, növényi tápanyagok). A berendezés utóülepítőjéhez képest a hosszú távú tározó elfolyó vizében a KOI csökkenése 84%-ról közel 100%-ra változott, a BOI csökkenése pedig 90%-ról 99%-ra. Hasonlók az eredmények többek között a TSS, növényi tápanyagokra és detergensekre nézve is.³⁷ Egy ugyanilyen rendszerben azt találták, hogy a rövid távú tározás jelentősen csökkentette a TPH, PAH komponensek, valamint néhány peszticid koncentrációját, az összes PAH esetén 30%-os csökkenést eredményezve a berendezés utóülepítőjéhez képest. A gyakran vizsgált szennyvízparaméterek az előző kutatáshoz hasonlóan csökkenést mutattak a tározás során. Ez a kutatás továbbá felhívja a figyelmet az ESZKB-k karbantartásának fontosságára, egy rosszul karbantartott rendszer elfolyó vizében tízszer, de akár több nagyságrenddel is magasabb koncentrációban voltak jelen a vizsgált TPH és PAH komponensek. Bár a bakteriális összetétel esetén nem történt összehasonlítás az adott rendszer utóülepítője és tározója között, a tároláson átesett szennyvízben jelentősen alacsonyabb számú baktérium volt jelen. Fontos

³⁶ UMAR 2022.

³⁷ KNISZ et al. 2021.

megemlíteni, hogy a humán patogén *Salmonella* nemzetség még a tárolás után is jelen volt az elfolyó vízben, ezek alapján fertőtlenítésre önmagában nem alkalmas.³⁸

Természetközeli megoldások

A tavas, növényágyas és gyökérszívós tisztítók természetközeli megoldásnak számítanak, amelyek természetes lebontó folyamatokat használnak a szennyvíz tisztításához. Relatív alacsony költségük és kis energiaigényük miatt jó utókezelési alternatívák lehetnek, amelyben egy fejlett biológiai rendszerrel kombinálják. Kutatások alapján mind a szennyvíztavak, mind a gyökérszívós tisztítók hatékonyan csökkentették az előkezelt szennyvizek KOI és BOI értékeit, valamint a patogének számát is.³⁹

Szűrési technológiák

Különböző pórusméretű felületi és mélységi szűrők is alkalmazhatók utókezelésre, az így nyert víz minősége a pórusméret függvényében változik. Kisebb pórusméret esetén több szennyező akad fenn a membránokon, szilárd részecskék mellett többek között a baktériumok, mikroműanyagok és makromolekulák is. A membránok különböző polimerekből készülhetnek, például polipropilénből vagy cellulóz-acetátból. A reverz ozmózis féligáteresztő membránokat alkalmaz, ami csak a vízmolekulákat engedi át, az oldott anyagokat, sókat, lebegőanyagokat, sejteket nem. A kisebb pórusméret általában gyorsabb eltömődést eredményez, így a membránokat gyakrabban kell cserélni vagy tisztítani, ami jelentős költségekkel járhat.⁴⁰ Ezek minimalizálására megfelelő előkezelés szükséges, például előszűrés vagy előüleptítés.

Megvalósítási lehetőségek ESZKB-k esetén

Az egyedi kisberendezések kiegészítése utókezeléssel több problémát is felvet az üzemeltetés kapcsán. A legnagyobb különbség a szennyvíztisztító telepekhez képest, hogy a kisberendezések tulajdonosai és egyben üzemeltetői általában laikusnak számítanak a szennyvíztisztítás terén, nem várható el tőlük az üzemeltetéshez szükséges szaktudás. A kereskedelmi forgalomban kapható kompakt berendezések kialakításából adódik, hogy a tulajdonosnak nem kell potenciálisan veszélyes karbantartást végezni, viszont, ha vegyszeres kezelést kell a technológiába integrálni, a tulajdonosnak ismernie kell a biztonságos munkavégzés menetét. Egy másik, el nem hanyagolható szempont a költségek alacsonyan tartása. Joggal feltételezhető, hogy míg egy ipari létesítménynek van pénzügyi forrása az esetlegesen költséges technológiák üzemeltetésére, egy háztartásnak nincs, vagy nem kíván nagyobb összegeket ilyen célra fordítani. Egyszerű lehet a kis pórusméretű membránokkal történő utólagos szűrés vagy

³⁸ GYÖRKI et al. 2023.

³⁹ ENGIDA et al. 2020.

⁴⁰ YANG et al. 2021.

adszorpció használata, viszont a szűrők, töltetek cseréjére gyakran szükség lehet. UV-besugárzás alkalmazása esetén az alkalmazott lámpa teljesítményétől függően jelentős plusz energiaigény keletkezhet.⁴¹ Ezeket figyelembe véve, a biztonság és költséghatékonyság szempontjából a legmegfelelőbb választás az egyedi kisberendezésekhez a tározás (tározóban vagy tóban), esetleg a szakaszos UV-besugárzás lehet. Az utókezeléseket célszerű különválasztani a kisberendezésektől, így biztosítható a legnagyobb kompatibilitás különböző típusú, méretű és működési elvű berendezésekkel. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy az utókezelésnek egy különálló rendszerben kell történnie, amelynek befolyó vize a kisberendezés utolsó lépéséből érkező elfolyó, előkezelt szennyvíz.

A rövid és hosszú távú tározás hatását is vizsgáló tanulmányok által bemutatott technológiai felépítés kimondottan egyszerű, elégséges egy, kettő, speciális esetben akár több, néhány köbméteres tartályt elhelyezni a földfelszín alá.⁴² Ez a technológiai lépés bármilyen kisberendezés után beiktatható, ha a berendezés elfolyó vizét el lehet juttatni a tartályokba. Ez történhet egyszerűen egy átbukásos rendszerrel, ami energiaigény nélkül a beérkező vízzel egyenlő térfogatú elfolyó vizet mozgat át az első tartályba. A tartályok közötti áramlást ugyanilyen módon meg lehet oldani. Amennyiben gravitációs módon ez nem elérhető, egy kis teljesítményű szivattyúval folyamatosan vagy szakaszos módon a berendezésből a tartályokba lehet mozgatni a vizet, akár a földfelszín felett lévő tartályokba is.

Az UV-besugárzás technológiai szempontból egyszerűen megoldható, mivel az előkezelés és a szilárd szemcsék kiszűrése, ülepitése megtörténik a kisberendezésekben. A megfelelő hatékonysághoz az UV-fény dózist kell beállítani, amelyet az UV-lámpa teljesítménye, a behatási idő, valamint a kezelt vízréteg vastagsága határoz meg. Az UV-lámpa teljesítményét irodalmi adatok alapján vagy előzetes tesztekkel kell meghatározni, a megfelelő működés biztosítása érdekében pedig érdemes felültervezni. A teljesítmény függvényében a vízréteg vastagsága is változtatható, alacsonyabb teljesítményű UV-lámpa esetén vékonyabb vízréteget kell biztosítani. A kezelést átfolyásos vagy szakaszos rendszerrel is el lehet végezni. Átfolyásos rendszer esetén az állandó hatékonysághoz érdemes egy szivattyút alkalmazni állandó térfogatárammal, amely folyamatosan áramoltatja át a vizet a rendszeren, bekapcsolt UV-lámpa mellett. Felépítését tekintve lehet egy cső a csőben rendszer, amelynek közepén hosszában fut az UV-lámpa, vagy egy tetszőleges méretű csatorna, amelybe UV-lámpák merülnek. Alternatív megoldás lehet egyenletlen vízterhelés esetén egy puffertartály vagy reaktortér, amely szakaszosan működtethető. A tartály telítődése esetén bekapcsolnak a vízbe merülő UV-lámpák, a behatási idő végével pedig kikapcsolnak, a vizet egy szivattyú távolítja el a rendszerből. Az UV-besugárzás gyengeségét tekintve meg kell oldani az UV-lámpák felszínének tisztán tartását, ha a szennyvízzel való érintkezés miatt azon lerakódás, vízkő vagy biofilm képződik.

A háztartási szennyvizekben található veszélyes anyagok nem olyan változatosak és magas koncentrációjúak, mint egyes ipari szennyvizekben, ennek ellenére gyakran előnyös lenne

⁴¹ UMAR 2022.

⁴² GYÖRKI et al. 2023; KNISZ et al. 2021.

ózonos kezelés beiktatása. Bár technológiai akadálya nincs az ózongenerátor és a buborékolgató rendszer kis léptékű használatának, a magas költségek miatt jelenleg nem célszerű kisberendezések vízének kezelésére.

Természetközeli megoldásoknál (természetes vagy mesterséges tavas, növényágyas, gyökérszűrő tisztítás) figyelembe kell venni, hogy a kompakt rendszerekhez képest nagyobb területet igényelnek, a föld alá rejtés ez esetben nem lehetséges. A növények továbbá ki vannak téve az időjárás változásainak és eltérő hatékonyságot mutatnak évszaktól függően. Felépítését tekintve az előkezelt szennyvizet egyszerűen a területre kell engedni, változó terhelés esetén érdemes lehet egy puffertartály beiktatása.

A membránszűrés és a reverz ozmózis biztonságos és könnyen alkalmazható technológiák, amelyek a kisberendezések esetén a kis térfogatáram miatt jól használhatók. A megfelelő működéshez a kisberendezésből érkező vizet egy pumpa kell hogy magas nyomással átnyomja a membránon, amelynek viszont magas lehet az energiaigénye. Lakossági felhasználás esetén további probléma, hogy az eltömődött membránokat rendszeres időközönként regenerálni vagy cserélni kell. A regenerálás olyan szaktudást és odafigyelést igényelne a tulajdonostól, amely rendszerint nem elvárható, az egyszerű csere pedig jelentősen megemelné az üzemeltetési költségeket. Folyamatos ellenőrzés nélkül továbbá fennáll a veszélye, hogy a membrán telítődik, a rendszer működése pedig leáll.

Összegzés

A népességnövekedéssel és az ipari fejlődéssel a keletkező háztartási és ipari szennyvizek mennyisége is egyre növekszik. A jelenlegi trendek alapján összetételüket tekintve a szennyező anyagok változatossága és feltehetőleg mennyisége is folyamatosan emelkedni fog. Ezekkel párhuzamosan a környezetbe engedett szennyvízre vonatkozó határértékek szigorúbbak lesznek, és nagyobb jelentőséget kap majd a szennyvíz újrafelhasználása. Ahhoz, hogy a határértékeknek megfeleljen a kezelt szennyvíz, elengedhetetlen lesz nemcsak az iparban, de az egyedi szennyvíztisztító kisberendezéseknél is bevezetni az új szennyezőkre nézve is hatáson, nagy hatékonyságú utókezelési lépéseket. Ehhez már számos technológia rendelkezésre áll, azonban a kisebb léptékben való alkalmazhatóságukat, illetve költséghatékony működtetésüket még kell oldani. Sokat segíthetnek ebben a korábbi évek kutatásai, esettanulmányai, továbbá a sikeres projektek eredményei is.

Felhasznált irodalom

- CHERNICHARO, C. A. L. (2006): Post-Treatment Options for the Anaerobic Treatment of Domestic Wastewater. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 5, 73–92. Online: <https://doi.org/10.1007/s11157-005-5683-5>
- CHFADI, Tarik – GHEBLAWI, Mohamed – THAHA, Renna (2021): Public Acceptance of Wastewater Reuse: New Evidence from Factor and Regression Analyses. *Water*, 13(10), 1391. Online: <https://doi.org/10.3390/w13101391>

- DUONG, Kimberly – SAPHORES, Jean-Daniel (2015): Obstacles to Wastewater Reuse: An Overview. *WIREs Water*, 2(3), 199–214. Online: <https://doi.org/10.1002/wat2.1074>
- EGBUIKWEM, Precious Nneka – MIERZWA, Jose Carlos – SAROJ, Devendra Prakash (2020): Evaluation of Aerobic Biological Process With Post-ozonation for Treatment of Mixed Industrial and Domestic Wastewater for Potential Reuse in Agriculture. *Bioresource Technology*, 318, 124200. Online: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124200>
- ENGIDA, T. M. et al. (2020): Review Paper on Treatment of Industrial and Domestic Wastewaters Using UASB Reactors Integrated into Constructed Wetlands for Sustainable Reuse. *Applied Ecology and Environmental Research*, 18, 3101–3129. Online: https://doi.org/10.15666/aeer%2F1802_31013129
- Environment and Natural Resources Department (2022): *Wastewater as a Resource*. European Investment Bank. Online: <https://doi.org/10.2867/31206>
- FRIEDLER, Eran – GILBOA, Yael (2010): Performance of UV Disinfection and the Microbial Quality of Greywater Effluent Along a Reuse System for Toilet Flushing. *Science of The Total Environment*, 408(9), 2109–2117. Online: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.01.051>
- GENE, E. Likens (2009): *Encyclopedia of Inland Waters*. Academic Press. Online: <https://doi.org/10.1016/B978-012370626-3.00001-6>
- GUPTA, Nandini – KHAN, D. K. – SANTRA, S. C. (2010): Determination of Public Health Hazard Potential of Wastewater Reuse in Crop Production. *World Review of Science, Technology and Sustainable Development*, 7(4), 328–340. Online: <https://doi.org/10.1504/WRSTSD.2010.032741>
- GYÖRKI, Gábor – PÁLNÉ SZÉN, Orsolya – KNISZ, Judit (2023): Impact of Maintenance on Domestic Wastewater Treatment Systems. *Pollack Periodica*, 18, 60–65. Online: <https://doi.org/10.1556/606.2023.00778>
- JUHÁSZ Endre (2011): *A szennyvíztisztítás története*. Budapest: Magyar Víziközmű Szövetség.
- KARCHES Tamás (2020): *Kis kapacitású szennyvíztisztító létesítmények*. Budapest: Ludovika.
- KNISZ Judit (2020): *Szerves mikroszennyezők a vizekben*. Budapest: Ludovika.
- KNISZ, Judit et al. (2021): Genome-Level Insights Into the Operation of an On-Site Biological Wastewater Treatment Unit Reveal the Importance of Storage Time. *Science of The Total Environment*, 766, 144425. Online: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144425>
- LOFRANO, Giusy – BROWN, Jeanette (2010): Wastewater Management through the Ages: A History of Mankind. *Science of The Total Environment*, 408, 5254–5264. Online: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.07.062>
- METCH, Jacob et al. (2015): Enhanced Disinfection By-Product Formation Due to Nanoparticles in Wastewater Treatment Plant Effluents. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 1, 823–831. Online: <https://doi.org/10.1039/C5EW00114E>
- PATWARDHAN, A. D. (2017): *Industrial Wastewater Treatment*. PHI Learning.
- SAFARI, Golam Hossein et al. (2013): Post-Treatment of Secondary Wastewater Treatment Plant Effluent Using a Two-Stage Fluidized Bed Bioreactor System. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 11(10). Online: <https://doi.org/10.1186/2052-336X-11-10>
- SARMA, Bornali (2018): Plasma Technology & Its Impact on Next Generation Smart Textile. *Current Trends in Fashion Technology & Textile Engineering*, 3(5), 555621. Online: <https://doi.org/10.19080/CTFTE.2018.03.555621>
- SHINDHAL, Toral et al. (2021): A Critical Review on Advances in the Practices and Perspectives for the Treatment of Dye Industry Wastewater. *Bioengineered*, 12(1), 70–87. Online: <https://doi.org/10.1080/21655979.2020.1863034>
- UMAR, Muhammad (2022): From Conventional Disinfection to Antibiotic Resistance Control-Status of the Use of Chlorine and UV Irradiation during Wastewater Treatment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3), 1636. Online: <https://doi.org/10.3390/ijerph19031636>
- WERT, Eric C. et al. (2007): Formation of Oxidation Byproducts from Ozonation of Wastewater. *Water Research*, 41(7), 1481–1490. Online: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.01.020>

- YANG, J. et al. (2021): Ultrafiltration as Tertiary Treatment for Municipal Wastewater Reuse. *Separation and Purification Technology*, 272, 118921. Online: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.118921>
- YE DU, Xiao-Tong et al. (2017): Formation and Control of Disinfection Byproducts and Toxicity During Reclaimed Water Chlorination: A Review. *Journal of Environmental Science*, 58, 51–63. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.01.013>
- ZHANG, Yi-Xuan et al. (2023): Ultraviolet-Based Synergistic Processes for Wastewater Disinfection: A Review. *Journal of Hazardous Materials*, 453, 131393. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131393>

Jogi források

- 27/2005. (XII. 6.) KvVM rendelet a használt és szennyvizek kibocsátásának ellenőrzésére vonatkozó részletes szabályokról
- 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól

Hózer Benjámín,¹  Pántya Péter² 

A légzésvédelmi eszközök fejlődésének történeti áttekintése a magyar tűzoltóság és a légoltalom szolgálatában a 19. és 20. század fordulóján – 2. rész, a szűrő típusúak

Historical Overview of the Development of Respiratory Protection Equipment in the Hungarian Fire Service and Civil Defence Service at the Turn of the 19th and 20th Centuries – Part 2, Filter Types

Jelen cikksorozat első részében ismertettük a szűrőjellelű, valamint a friss levegős légzésvédőket magyar tűzoltói és légoltalmi vonatkozásában, a 19–20. század fordulóján. A szűrőjellelűek kezdetleges kivitelük és alacsony tényleges védelmi képességük okán, míg a friss levegős légzők a körülményes használat, alacsony mobilitás és magas bekerülési költség miatt nem terjedtek el. Ebben a részben a tényleges védelmet szavatoló szűrő típusú légzésvédők hazai fejlődését mutatjuk be; hazánkban átfogó tanulmány a gázálcok fejlődéséről még nem készült. Kitérünk mindemellett az említett eszközök használati előnyeire és hátrányaira, valamint ezek hatására a jelenkor légzésvédelmi eszközrendszereit illetően.

Kulcsszavak: légzésvédelem, munkavédelem, szakmatörténet, tűzoltóság, légoltalom

In the previous part of this article, filter-like and fresh air respirators were examined in relation to Hungarian firefighting and civil defence. Filter type respirators were not been widely used

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

due to their primitive design and low actual protective capability, while the fresh air respirators were hindered by their cumbersome use, low mobility, and high implementation costs. This part will present the national development of filter type respirators in Hungary that provided actual protection as no comprehensive study on the evolution of gas masks has yet been conducted in Hungary. We will also discuss the advantages and disadvantages of these devices, as well as their impact on the current respiratory protection equipment system.

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

Bevezetés

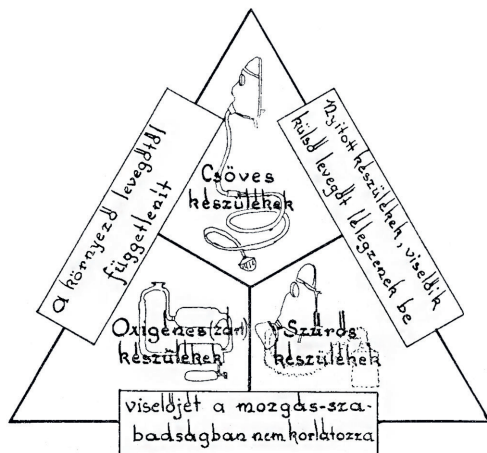
A jelenkori szakirodalomban a légzésvédelmi eszközök több csoportra bonthatók: a nyitott és zárt rendszerű, alapvetően sűrített levegős és oxigénes légzésvédőkre, valamint a szűrő típusúakra, a környezeti levegő káros anyagoktól való megszürésén alapulóakra.

Ettől eltérően a korabeli szakirodalomban ezeket könnyű/nehéz, valamint relatív/abszolút légzésvédőként is emlegetik. Míg a zárt rendszerű légzésvédők, saját levegő/oxigénforrás által teljesen függetlenítik – izolálják – a viselőt a környezeti levegőtől. Az előző részben bemutatott szűrőjellegű légzésvédők a nyitott rendszerűek közé tartoztak, míg a friss levegős légzők egyfajta diszkrét átmenetet képeztek a két kategória között. A nyitott rendszerű légzésvédők hátránya, hogy minimum 15 oxigénszázalékot el kell érnie a környezeti levegőnek, hogy az eszköz elégséges módon alkalmazható maradjon, emellett a levegőben lévő szennyező anyag mennyisége 1-2 térfogatszázalék fölé nem emelkedhet.³ 15%-os oxigénszint alatt a szelence szűrőképessége erősen leromlik (a lánggal égés is megszűnik), és légszomj jelentkezik, majd 12% alatt szédülés, 9% alatt ítélnőképesség-vesztés, 6% alatt fuldoklás lép fel. A friss levegős légzők egyfelől függetlenítik a viselőt a környezeti levegőtől, ugyanakkor nem tesznek lehetővé hermetikus zárást. Mindemellett, ha a füstthatár kitolódik, vagy a szélirány megváltozik, a viselőhöz bejuthat a szennyezett levegőből. Ebből fakadóan a fejlesztés két irányba indult tovább. A nyitott rendszerűeknél a szűrő típusú légzésvédők, a zárt rendszerűeknél pedig az oxigénes légzésvédők irányába. Az 1920-as, 1930-as évekre párhuzamosan volt jelen a piacon mind a szűrő típusú, mind a friss levegős, mind az oxigénes légzők több változata.⁴ Az eltérő típusú eszközök eltérő előnyökkel és hátrányokkal bírtak, amelyeket figyelembe kellett venni az alkalmazási körülményeknek megfelelően.⁵

³ RAFFAY 1937.

⁴ MÁRFÖLDY-ADORJÁN 1936.

⁵ PÁNTYA 2023.



1. kép: Az eltérő felépítésű légzésvédők előnyei és hátrányai egy korabeli kiadvány ismertetésében
Forrás: MÁRFÖLDY-ADORJÁN 1936

Típusleírások

A következő fejezetekben a nyitott rendszerű légzésvédők között a szűrő típusú eszközök négy képviselőjét mutatjuk be: a törlőránchos gázálarc, a börgázálarc, a 34M keretgázálarc-család jelentős típusváltozatai és a 35M sisak/népgázálarc.

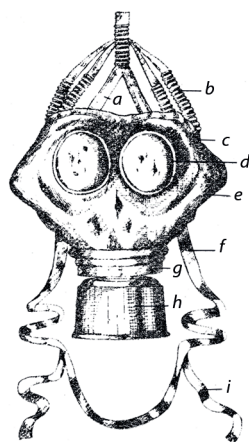
Szűrő típusú légzésvédők: törlőránchos gumialarc

A tényleges védelmi képességgel rendelkező szűrő típusú légzésvédőkre az első világháború árokkarcai során mutatkozott először nagy mennyiségben igény.⁶ A lövészárkokban elkészített ad hoc jellegű, különböző anyagokkal átítatott és benedvesített arc elé helyezett mullpólyák – nedves álarcok – csak marginális védelmet szavatoltak. A Német Császárságban és a vele szövetséges Osztrák–Magyar Monarchiában megjelent első száraz álarcok az úgynevezett *törlőránchos gumialarcok* voltak.⁷

Az elérhető korabeli szakanyagokban ezek a típusok jellemzően nincsenek nevesítve az egyes, manapság önálló szakterületekre, úgymint tűzoltói-légoltalmi, viszont a korszak meghatározó védőeszközei. Jól szemléltetik a technikai fejlődést, és alkalmazásuk folyamatosan felbukkan különböző területeken, ugyanezeket a modelleket használták a rendőrségnél, pénzügyőrségnél, de több helyen az iparban is.

⁶ SZOMBATI 2009.

⁷ *Új Idők Lexikona* 1938.



Törlőránco gumialarc

- a = homlokszalag
- b = halántékszalag
- c = keret
- d = szemrész, a szemkarikával és a szemüveggel
- e = az álc szöve
- f = hordszalag
- g = szájkari
- h = betét
- i = lógószalag

2. kép: A törlőránco gumialarc részei sematikus ábrán
Forrás: „E-35. Gáz. Ut.” 1927

A törlőránco gázálcok gumírozott szövet alappal, cserélhető aktív szenes szelencével és cellon szemlencsével voltak ellátva.⁸ A cellon a celluloidhoz hasonló műanyag, amely acetilcellulózból áll, és a celluloiddal ellentétben nem tűzveszélyes, emellett sérülése esetén kisebb eséllyel okoz kárt a viselő szemében.⁹ Ugyanakkor a cellon hátránya, hogy könnyen karcolódik. A törlőránco gumialarc a keretgázálcok köré tartozott, vagyis az arc záróvonalán volt szükséges a tömítettséget egy lakkréteggel szavatolni. Négy különböző méretben gyártották. Előnyei közé sorolhatjuk, hogy a szövet-gumi anyag okán kisebb méretű tároló bádogdobozba is elfért. Hátrányai közt meg kell említenünk, hogy a kilélegzett levegő elvezetésére nem volt rajta kilégzőszelep, így a viselő által kilélegzett levegő is a szelencén át távozott. Emiatt az aktív szenes száraz szelence gyorsabban elhasználódik a kilélegzett pára miatt. 27%-os nedvességtartalom fölött vagy vízbe ejtés esetén az aktív szén-töltet használhatatlanná válik.¹⁰ Ugyanakkor az a pára, ami nem távozott a szelencén át, jellemzően a szemlencsén csapódott le. Ebből fakadóan a viselő hamar elveszthette a tisztánlátás képességét, ami letális lehetett harctéri vagy tűzoltási-légoltalmi alkalmazás esetén. Ezt a problémát hamar felismerte a gyártó is, ezért a szövetalap szabásánál a lencse oldalánál két úgynevezett *törlőránco* iktatott be. A törlőránco segítségével a viselő kívülről úgy tud a lencse alá nyúlni, hogy az álcot nem veszi le a kontaminálódott területen, ugyanakkor a párát mégis diszkrétan el tudja távolítani.

⁸ Gázálcok szemüvege 1938.

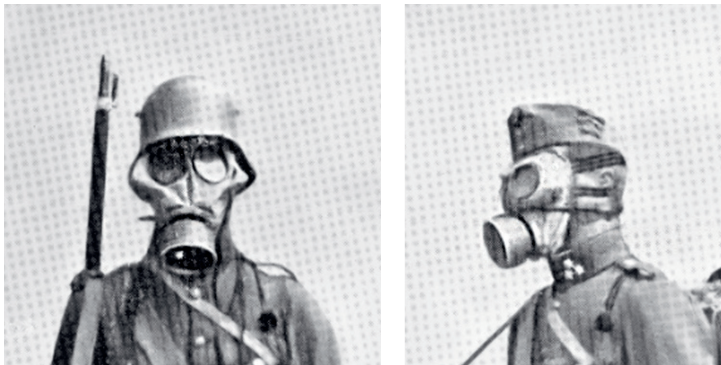
⁹ Új Lexikon 2. 1936.

¹⁰ DUNAY 1936.



3. kép: A közös hadsereg (K.u.K.) katonái törlőránchos gumiálarcban
Forrás: Fortepan 1915

A buggyos kialakítású varrás további hátránya, hogy a szemlencsék nem illeszkednek megfelelően a viselő látóteréhez, ezért gyakran szükséges ezeket igazgatni, így jelentős holtterek keletkezhetnek. Ennek abszolválására az álarcot fel lehetett *kötni* a szem alatt, az álarc lógó szalagjával. Az első világháború után ezeket az álarcokat túlnyomórészt már csak gyakorlatokhoz alkalmazták.¹¹ A törlőránchos álarc leggyakrabban alkalmazott típusjele: 1917M.



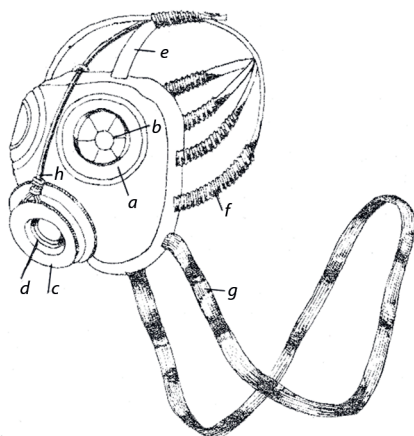
4. kép: A „felkötött” gázálarc meghatározott viselete
Forrás: a szerzők szerkesztése „E-35. Gáz. Ut.” 1927 alapján

Szűrő típusú légzésvédők: bőrálarc

A bőrálarcok, a törlőránchos gázálarcok hibáit hivatottak abszolválni. A merevebb hasított juh-bőr jobb tartást szavatolt a viselő számára, így kevesebb holttér maradt a látóterben. A bőrből készült álarc krómcserezéssel készült, és olajjal itatták át – impregnálás –, valamint a varratok

¹¹ „E-35. Gáz. Ut.” 1927.

mentén rugalmas lakkal tömítették. A bőrárc kilégzőszeleppel azonban még mindig nem rendelkezett. A külső szemlencse háromrétegű; a két külső réteg biztonsági üveg, míg a belső egy cellonlap összeragasztva.¹² Ezt a háromrétegű laminált anyagot, kereskedelmi forgalomban *triplex* néven is forgalmazták.¹³ A szemrész belső oldalára egy úgynevezett *páramentesítő lemez* került. A páramentesítő lemez zselatinnal bevont cellonból készült, amely a nedvességet felveszi, megduzzad, azonban átlátszóságát megőrzi.¹⁴ A szemlencséhez egy szorítókarika erősíti, és egy úgynevezett *pókháló* védi. A zselatinréteg csak a cellonlemez szem felőli oldalára került. A páramentesítő lemez szintén igen érzékeny volt a karcolódásra, emellett utólagos mentesítésére sem volt lehetőség szennyeződés esetén, kizárólag cserére.



Bőrgázárc

- a = szemkarika a szemüveggel
- b = páramentesítőlemez-védő (Pókháló)
- c = szájkarika
- d = gumi tömítőgyűrű
- e = homlokszalag
- f = halántékszalag
- g = hordszalag
- h = felkötő zsinag a horoggal és a gombbal

5. kép: Bőrárc és részei sematikus ábrán

Forrás: „E-35. Gáz. Ut.” 1927

A lemez 4-5 órás használat után annyira átnedvesedik, hogy homályosodni kezd. Száraz helyen tárolva magától kiszárad. A szelence – szárazbetét – használati időtartalma 4–8 óra, a terhelés és károsanyag-koncentráció függvényében,¹⁵ felkötő horog segítségével stabilizálható a homlokszalaghoz. A bőr – mint természetes anyag – hosszabb ideig raktározható a kicserepesedő gumiárcsal szemben, így e védőeszközök élettartalma lényegesen hosszabb a törlőránccsal szemben. A második világháború során hirtelen merült fel jelentős igény gázárcokra, ezért a hátrországban tűzoltói és légoltalmi alkalmazásban is találkozhatunk korabeli felvételeken törlőránccal és bőrgázárcokkal. Három különböző méretben készült; a bőrárc leggyakrabban alkalmazott típusjele: 1918M.

¹² *Légoltalmi ismeretek* 1937.

¹³ *A gázárc csodálatos élete* 1930.

¹⁴ *Ideiglenes útmutatás a légoltalom végrehajtására* 1936.

¹⁵ *Légoltalmi kézikönyv* 4. füzet 1936.

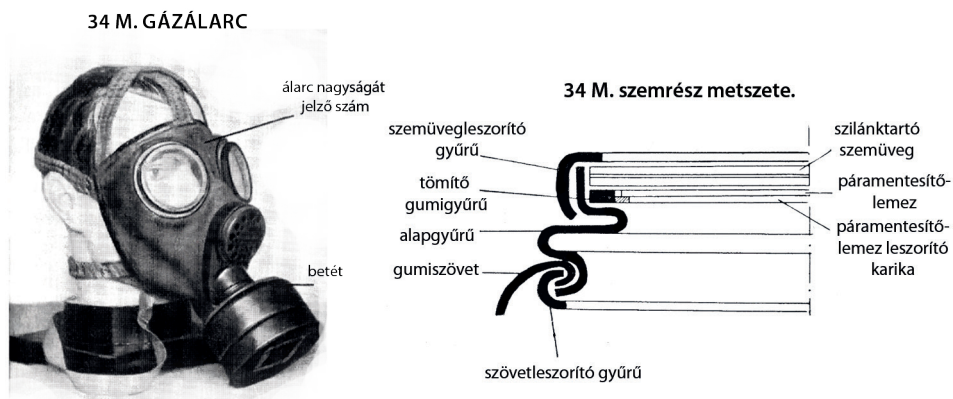


6. kép: A törlőráncoz gumialarc és tárolódoboza (b), valamint a bőralarc (j)

Forrás: GM15

Szűrő típusú légzésvédők: 33M (T), 34M és 36M keretgázálcok

A 34M gázálcoknak számos típusváltozata létezett, közülük jelen cikkben csak azokra térünk ki, amelyek technológiai szempontból jelentős újításnak tekinthetők. A 34M keretálcot a magyar királyi honvédség elsődleges személyi gázvédelmi eszközeként rendszeresítették, emiatt igen nagy darabszámban gyártották, hazai termelésben.



7–8. kép: A 34M keretgázálc és a 34M álc szemrészének sematikus felépítése, a rétegelt külső lencsével és a belső páramentesítő lemezzel

Forrás: „E-11. Gázv. Szolg” 1941

A bőrálarchoz képest a legjelentősebb különbség, hogy a tojás alakú szájrész felső felében kilégzőszelepet tartalmazott. A szájrész alsó felébe a szelencét lehetett csavarozni, amely egyúttal belégzőszelepet is kapott. Kilégzéskor, a belégzőszelep lecsukódása által megnő a szelence élettartalma, mivel kevesebb pára jut a szelencébe a kifújtt levegőből. Az álarctest gumirozott szövetből készült. Az álarc záróvonala bolyhos felületű bőrrel tömítődik, míg a varratokat önvulkanizáló gumioldattal vonták be. Szemrésze a külső oldalon triplex, a belső oldalon páramentesítő lemezzel ellátott. Ezt a típusú álarcot négy különböző méretben gyártották.¹⁶



9. kép: Légtalmai gázmentesítő szolgálat tagjai gyakorlaton, 34M gázálarcban

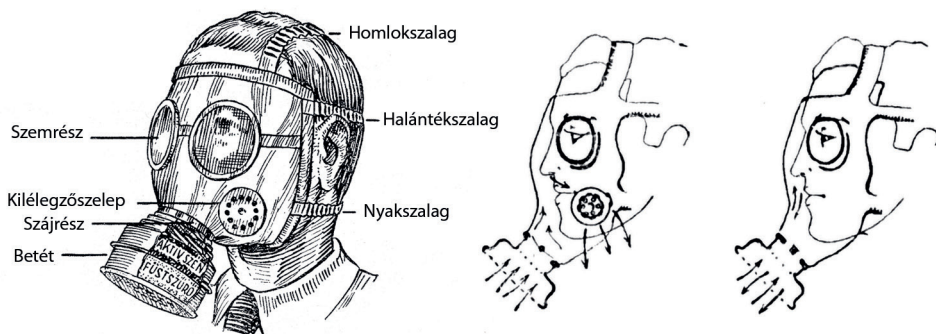
Forrás: 34M

A 34M gázálarc egyszerűsített változata az úgynevezett 36M népgázálarc, amelyet a polgári lakosság háttországban való gázvédelmére szántak. A két típus közti legjelentősebb különbség, hogy a népgázálarc kilégzőszelepet a bal szem alá pozícionálták át, így mérete némileg kisebb, tömege könnyebb lett, emellett a szelence csak cellonból állt. A páramentesítést glicerines szappannal lehetett végezni, így az $\frac{1}{2}$ – $\frac{3}{4}$ órán át funkcionált, valamint a szelence is rövidebb ideig védett, mivel a szempont nem a kárterületen való munkavégzés, hanem az óvóhelyre lejutás szavatolása volt.¹⁷ Az álarcot öt különböző méretben gyártották, mivel gyerekek számára is szánták. Az ötödik méret, a legkisebb, 6–8 éves gyerekeknek készült.¹⁸

¹⁶ „E-11. Gázv. Szolg” 1941.

¹⁷ Légtalmai gázvédelmi ismeretek 1939.

¹⁸ Népgázálarc [é. n.].



10–11. képek: A népgázálc és részei, a kétrészes szűrőbetéttel, valamint légzés gázálc alatt kilégzőszeleppel (b) és ingalégzés kilégzőszelep nélkül (j)

Forrás: Népgázálc [é. n.] és Új Idők Lexikona 1938

A 34M és 33M (T) tűzoltó álcok közötti különbség, hogy a 33M T változatot alapvetően tűzoltói alkalmazásra szánták. A tűzoltó álcához rendelt szelence nagyobb lett, mivel egy plusz vattából és tollból készült füstszűrő réteget is kapott, a korom és pernye felfogására. A méretnövekedés egyben súlygyarapodással is járt, így ezt a szelencét a derékra erősítve, az álcot összekötő csővel lehetett viselni. A 34M és 33M tűzoltó változat közötti egyetlen szerkezeti különbség a szájrészen alkalmazott szelencebefogó adapter szögállása, amely meredekebb szögben áll lefelé, hogy az összekötőcsövet használatot komfortosabbá tegye. A Magyarországon elérhető füstszűrős szelencék továbbra sem voltak alkalmasak a szén-monoxid megkötésére, egyes importszelencékkel ellentétben. Az importváltozatok számára ezt a képességet egy *hopcalit* katalizátorréteg szavatolta és egy szárító réteg fogta fel.¹⁹ A *hopcalit* mangán, kobalt és réz-oxid keveréke, amely a szén-monoxidot (CO) oxigén segítségével szén-dioxiddá alakítja át. Míg a közönséges aktív-szén-szelencék kimerülését a szűrendő gáz átengedése jelezte, addig a CO-szűrők katalizátorrétege nem merül ki, ellenben huzamosabb használat során átnedvesedik. A CO-szűrők ezért egy karbidréteget kaptak, amely átnedvesedés során acetilén-gázt fejlesztett, ezzel jelezve a viselő számára a szelence elhasználódását. A fejlesztések ellenére a tűzoltó álc még mindig csak szabad téren maradt alkalmazható a 15 oxigénszázalékos szabály miatt.

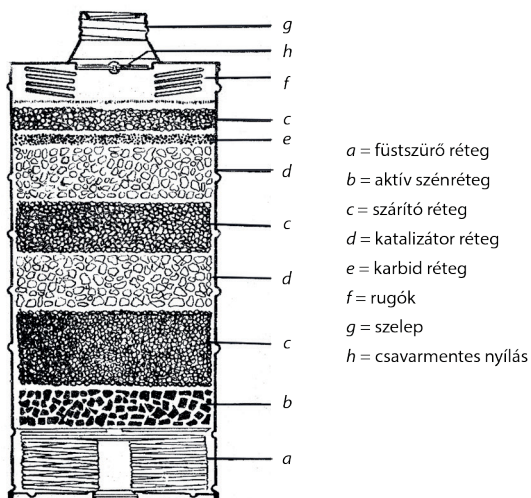
¹⁹ FRÜHWALD 1934.



12. kép: A 33M tűzoltó álarc hordhelyzetben

Forrás: *Hadtudományi Lexikon* 1995

A 33M tűzoltó álarcok egy speciális változata is ismert, amelyen a kilégzőszelep helyére egy mikrofonadaptert építettek be. A kilégzőszelepet a népgázálarchoz hasonlóan áthelyezték. A háton viselt tápegységből és a mellén viselt hangszóróból úgy lehetett az élőszavas vezénylést, kommunikációt megoldani, hogy ahhoz az álarcot nem volt szükséges levenni. Utóbbi verzióból csak elenyésző darabszám készülhetett.



13–14. képek: A CO-szűrőbetét szerkezeti felépítése és a 33M tűzoltó álarc mikrofonnal és hangosbeszélővel integrált változata, a magyar királyi posta egyik légoltalmi beosztottján

Forrás: *Tűzoltófelszerelések 1960 és Fortepan 1937*

Szűrő típusú légzésvédők: 35M sisakgázálarc

Az 1950 előtti gázálarcok utolsó jelentős képviselője a 35M népgázálarc, amely egyben az első hazai sisakgázálarc is. A sisakgázálarcok a keretgázálarcokkal szemben nagy felületen, jellemzően a fülövi részekben tömítenek. További előnyük, hogy sisak alatt is komfortos marad a viselése, és nem szükséges az álarc és a sisak dizájnját egymáshoz passzítani. Archoz simuló kivitele miatt a látómező holttere nem változik. Hátrányuk, hogy mivel anyaguk gumi, érzékenyek a környezeti változásokra, így rövidebb ideig lehetett őket csak raktározni. A 36M szövet keret-, népgázálarc hamar felváltotta a 35M változatokat. A sisakálarc gumi anyaga nagy arányban gyorsítja és egyszerűsíti a gyártást, ugyanakkor a háborús gumihány okán a gyártásával hamar leálltak. Ennek ellenére 1940-ig a német úgynevezett *volksgasmaske* gumi sisakálarc változatban készült, és csak 1944-től váltottak a gumírozott szövet keretálarcra.



35 M. Népgázálarc, olcsó, egyszerű gázálarc az oltalomban részesítendő polgárság részére

15. kép: A 35M sisak/nép/gázálarc viselve

Forrás: NÁRAY–BERKÓ 1936

Érdemes még megemlítenünk, hogy a második világháború során nagy arányban fordultak elő a védekező lakosság körében olasz importból származó, valamint a felvidéki, erdélyi és délvidéki visszacsatolások során zsákmányolt csehszlovák, lengyel, román és jugoszláv gyártmányú gázálarcok is.²⁰

²⁰ KÉLER 1941.

Jelenkori párhuzamok

A jelenleg a tűzoltóságok berkeiben alkalmazott egyes légzőálcok képesek kombinált szűrőbetétek fogadására, azonban ezek nem terjedtek el általánosan, tekintettel a környezeti levegőtől és annak oxigéntartalmától szükséges függetlenségre. Előnyük lehet szabadterén a nagyobb fokú mobilitás és hosszabb működési idő, például egy vegyi üzem területén, ismert veszélyes anyaggal szemben.

A népgázálcok helyett a hidegháború idején az úgynevezett *M-zárolt* készülékekben nagy mennyiségben, négy méretben halmoztak fel keretgázálcokat. Manapság a lakosság egyéni gázvédelemmel való tömeges ellátásának elsődleges eszköze a menekülőkámzsa. A menekülőkámzsa előnye, hogy elegendő csupán egyetlen méretben gyártani, tömítése a nyaknál szabályozható, panoráma flexibilis látómezővel rendelkezik, valamint kombinált szűrővel látták el, amely nem cserélhető. Az ilyen típusú védőeszközök légmentesen zárt csomagolásában (típustól függően) 5–10 évig is készenlétben tarthatók, továbbá jelentős tény, hogy hazai gyártásban is készülnek.²¹

Összegzés

A cikkben tárgyalt szűrő típusú légzésvédő eszközök már a következő fejlődési szintet jelentik a csupán szűrőjellegű, valós és hathatós védelmet nem nyújtó korai megoldásokhoz viszonyítottan. Látható, hogy még a szűrő típusúak között is megtörtént a fejlődés, tekintettel a katonai alkalmazások megjelenésére és a jelentős mértékben keletkezett gyakorlati tapasztalatokra. Ezek a tapasztalatok nemcsak a használatot, alkalmazást (védelem szintje, kommunikációs lehetőségek, a látás biztosítása), hanem a gyártást, karbantartást és a készenlétben tartást is érintették, jelentős befolyással az egyes tételek alkalmasságára.

A gázálcok és szűrőbetétes félálcok az ipar és a védelmi szektor számos szegmensében vannak jelen a mai napig, például vegyipar, festékipar stb. Szerepük és jelentőségük nem halványodott a modern kori biztonsági kihívások tekintetében sem, így számos előnyük okán továbbra is a katonák, rendvédelmi szervek és az ipar egyéni védelmi felszereléseinek elsődleges eszköze. Tűzoltósági alkalmazásuk ma Magyarországon elenyésző, ugyanakkor osztrák és német példák számos alkalmazási területtel szolgálnak további kutatásra is érdemesen.

A cikksorozat harmadik és egyben befejező részében a zárt rendszerű oxigénlégzők fejlődését mutatjuk be.

Felhasznált irodalom

A gázálc csodálatos élete (1930). *Budapesti Hírlap*, 1930. február 19. 5.

DUNAY Sándor (1936): *A műszaki gázvédelem alapelvei*. Budapest: Magyar Királyi Honvédelmi Minisztérium.

²¹ Menekülőkámzsa.

- „E-11. Gázv. Szolg.” *Gázvédelmi szolgálat szabályzat. 1. számú melléklet* (1941) [h. n.]: A Magyar Királyi Honvédelmi Minisztérium Kiadványa.
- „E-35. Gáz. ut.” – *Utasítás a gázvédelmi szolgálat ellátására, II. rész – Részletek* (1927). [h. n.]: A Magyar Királyi Honvédelmi Minisztérium Kiadványa.
- FRÜHWALD István (1934): *Gázharc! A lég- és gázvédelem*. Budapest: [k. n.].
- Gázálarcok szemüvege* (1938). *Magyar Katonai Szemle*, 8(7), 303.
- Hadtudományi Lexikon: „Tűzoltóság” szócikk* (1995). Budapest: Magyar Hadtudományi Társaság.
- Ideiglenes útmutatás a légoltalom végrehajtására* (1936). [h. n.]: A Magyar Királyi Országos Légvédelmi Parancsnokság kiadása.
- KÉLER Dénes (1941): *Légoltalmi gázvédelmi ismeretek*. Budapest: Légoltalmi Liga Országos Elnöksége.
- Légoltalmi gázvédelmi ismeretek* (1939). Budapest: Légoltalmi Liga Országos Elnöksége.
- Légoltalmi ismeretek* (1937). Budapest: Magyar Királyi Országos Légvédelmi Parancsnokság.
- Légoltalmi kézikönyv 4. füzet, Gázbomba és gázvédelem* (1936). [h. n.]: Országos Légvédelmi Parancsnokság.
- MÁRFÖLDY Aladár – ADORJÁN János (1936): *A légi veszély és a védekezés módjai*. Budapest: Madách.
- NÁRAY Antal – BERKÓ István (1936): *Légítámadás!* Budapest: Királyi Magyar Egyetemi Nyomda.
- Népgázálarc* [é. n.]. [h. n.]: Mercur Műszaki és Vegyipari Rt.
- PÁNTYA Péter (2023): A tűzoltósági, katasztrófavédelmi légzésvédelem története, jelene és jövőbeli lehetőségei. *Belügyi Szemle*, 71(3), 493–511. Online: <https://doi.org/10.38146/BSZ.2023.3.8>
- RAFFAY Béla (1937): A Műszaki gázvédelem. *Természettudományi Közlöny*, 69(1076), 514–528.
- SZOMBATI Zoltán (2009): A vegyifegyverek hatása az egyéni védőeszközök fejlődésére az I. világháborúban. *Hadmérnök*, 4(1), 25–33. Online: http://hadmernok.hu/2009_1_szombati.pdf
- Tűzoltófelszerelések* (1960). [h. n.]: Belügyminisztérium Országos Tűzrendészeti Parancsnokság.
- Új idők lexikona 11–12. „Egyéni gázvédő eszközök” szócikk* (1938). Budapest: Singer és Wolfner Irodalmi Intézet.
- Új lexikon 2.: „Cellon” szócikk* (1936). Budapest: Dante–Pantheon.

Internetes források

- 34M. Online: <https://gasmaskandrespirator.fandom.com/wiki/34M#Civilian>
- GM15. Online: <https://gasmaskandrespirator.fandom.com/wiki/GM15>
- Menekülőkámzsa. Online: <https://gammatech.hu/downloads/hun/datasheets/escapehood.pdf>
- Fortepan (1915) az.:156192. Online: <https://fortepan.hu/hu/photos/?id=156192>
- Fortepan (1937) az.:52221. Online: <https://fortepan.hu/hu/photos/?id=52221>

Daruka Norbert,¹ Dénes Kálmán,² Kovács Zoltán,³ Vég Róbert,⁴ Ember István⁵

Az additív gyártástechnológia térnyerésének munkavédelmi kérdései⁶

Occupational Safety and Health Issues Related to the Take-Up of Additive Manufacturing

A digitális technológia fejlődésének hatására mára már mindenütt megtalálhatók az additív gyártástechnológia különböző típusú és funkciójú 3D-nyomatói. Mivel a 3D-nyomatás egyre népszerűbb és szinte mindenki számára elérhető, nagy mennyiségben jelennek meg különböző formájú, méretű és funkciójú alkatrészek, kiegészítő elemek. Jelenleg a felhasználók többsége kizárólag a pozitív eredményekkel és felhasználási prioritásokkal foglalkozik, és csak nagyon kevesen foglalkoznak azzal a ténnyel, hogy maga a technológia alkalmazása egészségügyi kockázatokat is hordoz magában. Cikkünkben a lehetséges egészségügyi kockázatokat vizsgáljuk, nemcsak a szervezeten foglalkoztatott munkavállalók, hanem a teljes felhasználói szektor tekintetében.

Kulcsszavak: additív gyártástechnológia, 3D-nyomatás, munkavédelem, egészségügyi kockázatok

With the development of digital technology, printers with different types and functions of additive manufacturing technology are now ubiquitous. As 3D printing is becoming more and more popular and accessible to almost everyone, parts and accessories of different shapes, sizes and

¹ Robbanóanyag-ipari szakmérnök, e-mail: daruka.norbi@gmail.com

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

³ Egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Műveleti Támogató Tanszék, e-mail: kovacs.zoltan@uni-nke.hu

⁴ Egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Haditechnikai Tanszék, e-mail: vegh.robort@uni-nke.hu

⁵ Tanársegéd, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Műveleti Támogató Tanszék, e-mail: ember.istvan@uni-nke.hu

⁶ A cikk a 2022-2.1.1-NL-2022-00012 számú „Kooperatív Technológiák Nemzeti Laboratórium” projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási és Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a Nemzeti Laboratóriumok pályázati program finanszírozásában valósult meg.

functions are appearing in large quantities. At present, the majority of users are concerned only with the positive results and priorities for use, but very few are concerned with the fact that the use of the technology itself carries health risks. In this article, we look at the potential health risks, not only for the workers employed in the organisation, but for the whole user sector.

Keywords: additive manufacturing, 3D printing, occupational health and safety, health risks

Bevezetés

A digitális technológia robbanásszerű fejlődése és egyre nagyobb mértékű térnyerése innovatív és széles spektrumú fejlesztési lehetőségeket tesz elérhetővé, mindemellett korábban még nem ismert kihívásokat teremtett a különböző munkaterületeken. Az új, digitális alapokon nyugvó technológiák esetében ki kell használnunk azokat az előnyöket, amelyek a munkavédelem szempontrendszer szerint már nem jelentenek veszélyt a szervezett munkavégzés keretében foglalkoztatottakra. Ezzel egy időben viszont fel kell tárunk azokat a veszélyforrásokat, amelyek a munkakörnyezet biztonságosságára hatást gyakorolnak. A digitális technológia megfelelő és észszerű alkalmazásával csökkenthetők a foglalkoztatásból eredő egészségkárosító kockázatok, illetve javíthatók a szervezett munkavégzést befolyásoló munkakörülmények is.

A mobil technológiák, az online felületek és többek között a robotika eszközszerén keresztül folyamatosan változik a munkavégzés jellege, helye, valamint az is, hogy ki és mikor dolgozik. Ebben a rendszerben eléggé nehéz megszervezni magának a munkavégzésnek a felügyeletét, ellenőrzését. Jó példa volt erre a világválság idején számos helyen megvalósított *home office*, ahol a szervezett munkavégzés ugyan megvalósult, de annak a felügyelete és ellenőrzése még a mai napig is komoly kihívások elé állítja a munkáltatókat. A technológia fejlett és tovább fejlődő eszközszerén keresztül nagyon nehéz megvalósítani, illetve koordinálni az egészséges és biztonságos munkavégzés feltételeit.

A digitális technológia talán egyik legnagyobb potenciált rejtő területe a mesterséges intelligencia, amely a robotika elemeivel ötvözve intelligens, együttműködő és mindemellett mobil eszközöket foglal magába. Ezek a gépek már nemcsak fizikai, hanem kognitív értelemben is helyettesíthetik a munkavállalókat, ezzel is csökkentve a munkakörnyezet veszélyeinek való kitettségüket. Emellett természetesen az is fontos szempont lehet, hogy az emberi szervezetet érő munkahelyi terhelés hiánya is éppolyan káros elemeket hordozhat magában, mint a fizikális vagy a mentális túlterheltség. Az is elgondolkodtató, hogy néhány fejlettebb üzem területén a munkafolyamatok felügyeletét már technológiai eszközök, illetve az azokhoz megalkotott algoritmusok látják el. Félve tesszük fel a – néhány éve még csak *science fiction*-be illő – kérdést: Mi lesz, ha a jövőben az emberi tevékenységet (szervezett munkavégzést) intelligens gépek fogják irányítani?

Additív gyártástechnológia

Az additív gyártás⁷ olyan technológiai folyamat, amelynek segítségével rétegről rétegre történő anyaghozzáadással háromdimenziós tárgyakat hozhatunk létre. Az említett anyag lehet műanyag, fém, beton vagy egyes elképzelések szerint egy nap akár élő szövet is. Ha a mai technológiai lehetőségeket vesszük figyelembe, akkor egyértelműen kijelenthető, hogy a formatervezés határozza meg a gyártást. A megfelelő tervezőszoftver segítségével digitális formában elkészíthetünk szinte bármilyen háromdimenziós alakzatot, amelyet a megfelelő nyomtatók segítségével rétegenként lehet felépíteni.

Ez az új gyártástechnológiai eljárás határtalan lehetőségeket hordoz magában, nem véletlen, hogy az utóbbi években robbanásszerű a technológia elterjedése. Maga a gyártástechnológiai eljárás nem új keletű, hiszen az ötlet maga már az 1970-es években megfogalmazódott.⁸ David Edward Hugh Jones – Daedalus néven publikáló kémikus és író – ugyanis 1974-ben a *New Scientist*⁹ folyóiratban már ismertette elképzeléseit. Egy évtizeddel később Chuck Hull, a 3D Systems alapítója is foglalkozott a témával, és 1986-ban az ő közreműködésével fejlesztették ki a sztereolitográfia¹⁰ – vagyis a tartályos fotopolimerizáció –, SLA-technológiát, amely a 3D-nyomtatási technológia egyik formája. A technológiai folyamatban folyékony állagú fotopolimert alkalmaznak a 3D-nyomtatóban, majd UV-lézerrel megkeményítik a réteget, így alakítják ki a kívánt alakzatot.

Szinte az SLA-nyomtatási eljárással egy időben fejlesztette ki Carl Deckard és Joe Beaman a szelektív lézeres szinterezést, az SLS-technológiát¹¹ az Egyesült Államok Védelmi Minisztériuma kutatási és fejlesztési ügynökségének¹² támogatásával. A technológia leglényegesebb eleme, hogy lézert használ energia- és hőforrásként porított anyagok (például nylon vagy poliamid) szinterezéséhez. Maga a lézer automatikusan a tér 3D-s modellje által meghatározott pontjaira van irányítva, ami ott megolvastja az anyagot, majd annak megszilárdulását követően jön létre a megtervezett szerkezet.

Nem sokkal később egy harmadik technológia is megjelent a 3D-nyomtatás történetében, amelyet Steven Scott Crump és felesége Lisa Crump fejlesztett ki¹³ az általuk 1989-ben alapított minnesotai Stratasys nevű vállalatnál. Az eljárás az olvasztott leválasztásos modellezés,

⁷ *Additive manufacturing.*

⁸ ELLAM 2016: 53.

⁹ Népszerű tudományos magazin, amely a tudomány és a technológia minden aspektusát lefedi. A *New Scientist* első kiadása 1956. november 22-én jelent meg. A magazin 1996 óta elérhető online formában is.

¹⁰ SLA – *stereolithography*: fotokémiai eljárás, amelyben a fény hatására a kémiai monomerek és oligomerek térhálósodnak egymással, és polimerek keletkeznek. A szakirodalomban optikai gyártásnak, fotoszilárdításnak vagy gyantanyomtatásnak is nevezik.

¹¹ SLS – *selective laser sintering.*

¹² Defence Advanced Research Projects Agency (DARPA) a katonai felhasználásra szánt új technológiák fejlesztéséért felelős szervezet.

¹³ A cégtörténet szerint Scott 1988-ban játék békát akart készíteni kislányának polietilén és gyertyaviasz keverékével töltött ragasztópisztollyal. Az elképzelés csak úgy működött, hogy rétegről rétegre hozta létre az alakzatot. A játék olyan jól sikerült, hogy feleségével azon elmélkedett, hogyan automatizálja a folyamatot.

vagyis az FDM – *fused deposition modeling*¹⁴ volt. Az FDM-technológia során egy műanyag huzal olvasztásával és irányított kipréselésével építik fel a modellt, rétegről rétegre.

Látható tehát, hogy a 3D-nyomatás mint technológia éppen fél évszázada fogalmazódott meg, és több évtizede folyamatosan fejlődik. A technológia első generációs gépei kezdetben nagyon drágák és nehezen kezelhetők voltak, alkalmazásukra is csak az ipari szektorban volt lehetőség. Ennek ellenére elterjedése forradalmasította az ipart és csökkentette a termékfejlesztés időszükségletét és természetesen annak költségét is.

Az ipari szektorból történő kilépést az MIT doktoranduszainak, Tim Andersonnak és Eden Prairie-nek köszönhetjük. A két fiatal kutató egy tintasugaras nyomtatót alakított át olvasztásos technológiára 1995-ben. Ettől az időponttól beszélhetünk arról a 3D-nyomatási technológiáról, amelyet ma közvetlenül is használhatunk, akár szervezett munkavégzés keretében, akár magáncélú felhasználóként. Nem véletlen, hogy magát a 3D-nyomatást mint fogalmat is ettől az időponttól értelmezzük.

Kezdetben a módszert prototípusgyártásra használták, azonban az elmúlt évek robbanásszerű elterjedésének és a technológia fejlődésének köszönhetően ma már kész alkatrészt, terméket is gyártanak ezzel a technológiával. Kijelenthető, hogy az additív gyártástechnológia alkalmazása nem ismer határokat, hiszen alkatrészeket – légi, vízi, illetve szárazföldi felhasználásra – éppúgy sorozatszerűen gyártanak, mint személyre szabható orvosi implantátumokat (fogpótlásokat) vagy divattermékeket.

A 3D-nyomatás munkavédelmi aspektusai

Magyarország Alaptörvénye mint elsődleges jogforrás foglalja össze az államszervezetre vonatkozó alapvető szabályokat, illetve tartalmazza azokat a jogokat és kötelezettségeket, amelyek minden magyar állampolgár számára kötelező érvényűek.¹⁵ Az Alaptörvény XVII. cikkelyének (3) bekezdése szerint: „Minden munkavállalónak joga van az egészségét, biztonságát és méltóságát tiszteletben tartó munkafeltételekhez.” Magára a munkavégzésre vonatkozó, úgynevezett részletekbe menő meghatározásokat a munkavédelmi törvény ismerteti. A munkavédelmi törvény rendelkezései szerint a munkavédelem nem más, mint: „Az egészséget nem veszélyeztető és biztonságos munkavégzés személyi, tárgyi, szervezeti feltételeinek szabályozása a szervezetten munkát végzők, az egészséges és munkavégző képesség megőrzése, munkakörülmények humanizálása, a munkabalesetek és foglalkozási balesetek megelőzése érdekében.” A törvény értelmében az egészséges és biztonságos munkavégzés érdekében az állam meghatározza a munkáltatók és a munkavállalók jogait és kötelezségeit, valamint ebbe a tevékenységbe az érdeképviseletek érintett elemeit is bevonja. Az állam egyúttal a törvényi szabályozás betartásának érdekében, illetve az egészséget nem veszélyeztető és biztonságos munkavégzés feltételrendszerének megteremtése okán felügyeleti szerveket is létrehozott,

¹⁴ FFF – 3F – *fused filament fabrication*: olvasztott filament gyártás megnevezéssel is olvashatunk róla.

¹⁵ Magyarország Alaptörvénye R cikk, (2) bekezdés.

amelyek segítik és ellenőrzik a törvényi előírásokat, azok be nem tartását pedig szankcionálja.¹⁶ A munkavédelmi törvény értelmében a munkavédelem a szervezett munkavégzésre vonatkozó munkaegészségügyi, illetve munkabiztonsági követelmények összessége, továbbá a jogszabályban meghatározott célok megvalósítására szolgáló törvénykezési, szervezési, intézményi előírások rendszerét, valamint mindezek végrehajtását hivatott foganatosítani. Az említett munkaegészségügyi követelmények vonatkozásában a munkakörnyezeti kóroki tényezők feltárása, a munkaköri alkalmasság tényének megállapítása és időszakos ellenőrzése, illetve a munka és a munkakörnyezet hatásainak munkavállalót érintő megterhelésének megállapítása a feladata. Az említett tevékenységek kizárólag a foglalkozás egészségügy feladatrendszerébe tartoznak. A területen tevékenykedő munkavállalók védelme azonban nem tekinthető teljesnek, mivel a munkaegészségügy másik területét, a munkahigiénét érintő kockázati tényezőket még nem állapították meg. A publikáció témáját figyelembe véve a munkahigiéné feladatkörébe tartozik – a szervezett munkavégzés tekintetében – 3D-nyomtatás munkakörnyezetében a kóroki tényezők méréséhez, illetve kimutatásához szükséges módszerek kidolgozása. Továbbá a munkahigiéné feladatkörébe tartozik, hogy az additív gyártástechnológiát alkalmazó üzem vagy létesítmény kialakításakor megállapítsa a várható egészségkárosító kockázatokat. Ebből adódóan elengedhetetlen és szükséges, hogy minőségi és/vagy mennyiségi alapon jellemezze magát a munkakörnyezetet, illetve az additív gyártástechnológiával történő termék gyártását, illetve a 3D-nyomtatás alkalmazásához szükséges anyagokat, vegyületeket. Szintén a munkahigiéné feladatkörébe tartozik, hogy a rendelkezésre álló információk (szabványok, kockázatbecslések, technológiai leírások stb.) alapján az egészséget nem károsító, az adott munkahelyhez kötött higiénés határértékeket állapítsa meg, és a munkafolyamatok egyes részeire és a teljes gyártási tevékenység munkaegészségügyi biztosítására megelőző stratégiát dolgozzon ki. A munkahigiéné feladata, hogy a szakterülethez köthető feladatok végrehajtásának érdekében a hatósági felügyeletet is gyakorolja.¹⁷

A munkavédelmi törvény rendelkezéseinek maradéktalan teljesülése érdekében szükséges a szervezett munkavégzés keretében megvalósuló additív gyártástechnológia munkakörülményeinek és a munkavégzés szabályainak meghatározása, amelyek a munkabiztonság teljesülésének feltételei. A munkabiztonság teljesülésének alapfeltétele, hogy a 3D-nyomtatással történő gyártás minden munkafolyamatánál megelőzzük a balesetek kialakulásának lehetőségét. Természetesen tökéletes, balesetmentes munkahely nem létezik, így, ha egy baleset már bekövetkezett, annak teljes körű kivizsgálása, illetve a megfelelő intézkedések foganatosítása elengedhetetlen annak érdekében, hogy az még egyszer ne ismétlődhessen meg.

Az additív gyártástechnológia szempontjából a munkabiztonság a gyártóüzem környezetét (az ott tartózkodókat), a gyártás közvetlen helyszínét, a gyártóberendezéseket (3D-nyomtatókat, technikai berendezéseket), az alkalmazott technológiákat és természetesen a munkavállalók kollektív és egyéni védelmének eszközeit foglalja magába. Fontosnak tartjuk megjegyezni, hogy mindez, a jelenlegi szabályozás szerint kizárólag a szervezett munkavégzés keretében megfogalmazott követelmény. Tehát, ha maga a gyártás, nyomtatás nem szervezeten

¹⁶ 25/2024. (II. 14.) Korm. rendelet.

¹⁷ SZÉKELY 2021.

(munkáltató és munkavállaló kapcsolatrendszerben) valósul meg, akkor a törvényi szabályozásnak nincs relevanciája. Ez azért is fontos, mert a különböző kóroki tényezők és azok emberi szervezetre gyakorolt hatásai valójában függetlenek attól, hogy szervezeten foglalkoztatott munkavállalóról, vagy otthon a saját hobbijaként tevékenykedő személyről beszélünk.

A 1993. XCIII. törvény a munkavédelemről, Alapelvek 8. §-ában munkaegészségi és munkabiztonsági tevékenységgel kapcsolatban az alábbi szabályt fogalmazza meg:

„Jogszabály egyes feladatokat munkabiztonsági szaktevékenységnek, illetve munkaegészségügyi szaktevékenységnek minősíthet. A munkáltató a munkabiztonsági szaktevékenységnek minősített feladatokat csak külön jogszabályban meghatározott munkavédelmi, a munkaegészségügyi szaktevékenységnek minősített feladatokat pedig munkaegészségügyi [foglalkozásorvostan (üzemorvostan), munkahigiéne, közegészségtan-járványtan, megelőző orvostan és népegészségtan] szakképesítéssel rendelkező személlyel végezetheti.”

Az 5/1993. (XII. 26.) MüM rendelet a munkavédelemről szóló 1993. évi XCIII. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról 4. §-ában leírtak szerint a meghatározott tevékenységet folytató és veszélyességi osztályba sorolt munkáltató létszámhoz és képesítési feltételekhez igazodóan köteles munkavédelmi (munkabiztonsági) szakképesítéssel rendelkező szakembert alkalmazni.¹⁸

Az additív gyártástechnológia egészségügyi kockázatai

Ahogy a bevezetőben is említettük, az additív gyártástechnológia mára az életünk részévé vált, és egyes kutatók úgy vizionálják, hogy a következő három évet is beleszámítva, 2027-re az eladott 3D-nyomtatók mennyisége meg fogja haladni az évi 8 millió darabot.¹⁹ Az eladott darabszámot természetesen nemcsak a technológiai fejlődés, hanem a felvásárlópiac is alapvetően befolyásolhatja. Utóbbi azért is bonyolult és komplex területként azonosítható, mert számos piaci szegmens hatásainak következményeként változik szinte napról napra.

A 3D-nyomatás piaca az alábbi területek mentén vizsgálható:

- komponensek (hardver, szoftver, szolgáltatások);
- felhasználási terület (asztali 3D-nyomtató, ipari 3D-nyomtató);
- technológia (sztereolitográfia, olvasztott leválasztásos modellezés, elektronsugaras olvasztás, szelektív lézeres szinterezés, közvetlen fémlézeres szinterezés, polyjet stb.);
- nyomtatás, elektronsugaras olvasztás, lézer, fémléválasztás, digitális fényfeldolgozás, laminált tárgyak gyártása, egyéb;
- szoftver (tervezőszoftver, ellenőrző szoftver, nyomtatást vezérlő szoftver, szkennelő szoftver);

¹⁸ 1993. évi XCIII. törvény a munkavédelemről és az 5/1993. (XII. 26.) MüM rendelet a munkavédelemről szóló 1993. évi XCIII. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról.

¹⁹ Grand View Research 2019.

- alkalmazás (prototípus-készítés, szerszámkészítés, funkcionális alkatrészek);
- anyag (mesterséges polimerek, fém, kerámia);
- régió (Észak-Amerika, Európa, Ázsia-csendes-óceáni, Dél-Amerika, MEA).

A piaci szegmenseket alapul véve, a különböző gyártók termékeit megvizsgálva és a hazai értékesítés prioritásaira tekintettel azt a következtetést tudjuk levonni, hogy a leggyakrabban használt alapanyagok:

- az *Akrilnitril-butadién-sztirol* (ABS):²⁰ jó ütésálló képességgel, nagy keménységgel és szilárdsággal, jó hőállósággal és vegyszerállósággal rendelkező, hőre lágyuló műanyag, amely az amorf polimerek közé sorolható;
- a *Politejsav* (*polylactic acid*, PLA):²¹ biológiai úton lebomló, hőre lágyuló műanyag, amelyet magas keményítőtartalmú gabonafélékből állítanak elő;
- illetve a kifejezetten 3D-nyomatáshoz alkalmazott *műgyanta* (*resin*): egy UV-ra keményedő folyékony műanyag, amelyet a sztereolitográfiai eljárások során alkalmaznak.²²

A felsorolt anyagok tekintetében megállapítható, hogy azok 3D-nyomatás során történő felhasználásakor olyan kockázatokkal kell számolnunk, mint például a nanorészecskéknek és az illékony szerves vegyületeknek²³ (VOC) való kitettség.²⁴ Annak ellenére, hogy az Európai Vegyianyag-ügynökség (ECHA) folyamatosan azon dolgozik, hogy mind uniós, mind nemzeti szinten megfelelő határértékeket állapítson meg egy adott anyag veszélyeinek vonatkozásában, számos országban nincs elfogadott munkahelyi expozíciós határérték (OEL) a nanorészecskékre.²⁵ A munkahelyi expozíciós határértékek olyan szabályozói értékek, amelyek a munkahely levegőjében előforduló vegyi anyagok tekintetében (az egészség szempontjából) biztonságosnak tartott expozíciós szinteket jelzik. A nemzetközi szakirodalom egyes esetekben tartalmaz olyan referenciaértékeket, amelyek segítségével a 3D-nyomatás során keletkező nanorészecskék expozícióját értékelhetjük.²⁶

²⁰ A PLA alapvető tulajdonságait az alkotóelemek határozzák meg. A sztirol biztosítja a jó feldolgozhatóságot, az akrilnitril a keménységet, hőállóságot és a kémiai ellenálló képességet, a butadién pedig a rugalmasságot és az alacsony hőmérsékleten való keménységet. A különböző adalékanyagok hozzáadásával, illetve az arányában módosítható alkotóelemeknek köszönhetően eltérő, specifikus jellemzőkkel rendelkező 3D-nyomatási alapanyagok is létrehozhatók.

²¹ A PLA számos szerves oldószerben oldódik, így ezeket az oldószereket alkalmazzák a 3D-nyomatókban az extruderfejek tisztítására.

²² A fényérzékeny gyanta lézerrel vagy fényvel keményíthető.

²³ Illékony szerves vegyület (VOC – *volatile organic compound*): bármely, normál szobahőmérsékleten nagy gőznyomással rendelkező szerves vegyület, amelynek forráspontja nem éri el a 250 °C-ot, ami nagyszámú molekula elpárolgását és a környező levegőbe való bejutását okozza.

²⁴ BYRLEY et al. 2019: 395–407; GU et. al 2019: 476–485; KWON et al. 2017: 10357–10368.

²⁵ Munkahelyi expozíciós határérték (OEL – *occupational exposure limit*): olyan szabályozói érték, amely a munkahely levegőjében előforduló vegyi anyagok tekintetében (az egészség szempontjából) biztonságosnak tartott expozíciós szinteket jelzi. Magyarországon a határértékeket az 5/2020. (II. 6.) ITM rendelet a kémiai kóroki tényezők hatásának kitett munkavállalók egészségének és biztonságának védelméről tartalmazza.

²⁶ GARCIA-GONZALEZ – POLA 2023: 195–211.

Illékony szerves vegyületek

Az illékony szerves vegyületek bizonyos szilárd vagy folyékony anyagokból gáz formájában szabadulnak fel. Ezek a gázok olyan vegyi anyagokat tartalmazhatnak, amelyek rövid vagy hosszú távon káros hatással lehetnek az emberi szervezetre. Befolyásoló tényező az is, hogy az illékony szerves vegyületek koncentrációja akár tízszer magasabb lehet a beltéri helyiségekben, mint a kültéren. Ez a 3D-nyomtatás esetében fokozottan jelentkezik, hiszen az előzőekben már említett alapanyagokat használó technológia elhelyezése szinte kivétel nélkül zárt helyiségekben történik. Az illékony vegyi anyagokat kibocsátó termékek darabszáma több ezerre tehető az Egysült Államok Környezetvédelmi Ügynöksége (EPA) szerint.²⁷

Az EPA Kutatási és Fejlesztési Hivatalának *Teljes expozíció felmérési módszertan tanulmánya* I–IV. kötet már 1980-as években megállapította,²⁸ hogy körülbelül egy tucat gyakori szerves szennyező anyag szintje 2–5-ször magasabb a lakások belsejében, mint a kültéren, függetlenül azok elhelyezkedésétől. Ez azért is fontos, mert miközben az emberek (nem feltétlenül a munkavállalók) szerves vegyi anyagokat tartalmazó termékeket használnak a 3D-nyomtatási eljárás közben, nagyon magas szennyezőanyag-szinteknek tehetik ki magukat és környezetüket, ami a tevékenység befejezése után is hosszabb ideig megmaradhat a levegőben.

Az EPA az illékony vegyi anyagok esetében a következő besorolást alkalmazza:

- nagyon illékony szerves vegyületek (VVO, *very volatile organic compounds*) Forrásponttartomány: < 50–100 °C (például propán, bután és metil-klorid);
- illékony szerves vegyületek (VOC, *volatile organic compounds*) 50–100 °C < Tb²⁹ < 240–260 °C (például formaldehid, d-limonén, toluol, aceton, etanol [etil-alkohol], 2-propanol [izopropil-alkohol] és hexanal);
- félig illékony szerves vegyületek (SVOC, *semi-volatile organic compounds*) 240–260 °C < Tb < 380–400 °C (peszticidek – esetünkben lágyítószeres – vagy égésgátlók).³⁰

Hazánkban a 4/2011. (I. 14.) VM rendelet a levegőterheltségi szint határértékeiről és a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről rendelkezik az említett szintekről, illetve határértékekről. A rendelet 3. §-a a légszennyező anyagokat az egészségre, valamint a környezetre gyakorolt hatásuk alapján – különösen veszélyes, fokozottan veszélyes, veszélyes, mérsékelten veszélyes – veszélyességi fokozatba sorolja.

Az additív gyártástechnológia vonatkozásában a jogszabályban a helyhez kötött légszennyező pontforrásokra történik utalás. Ennek értelmében a helyhez kötött légszennyező pontforrásokra:

- technológiai (általános, eljárás-specifikus) kibocsátási határértéket;
- integrált kibocsátáskezelés alapján megállapított kibocsátási határértékeket;

²⁷ US EPA O. 2024.

²⁸ *Total Exposure Assessment Methodology (TEAM) Study*. I–IV. 1985.

²⁹ Boyle-hőmérséklet. A Boyle–Mariotte-törvényt kísérleti tapasztalat útján alkották meg, ideális gázok speciális állapotváltozásainak leírására. Azt mondja ki, hogy adott gázmennyiség nyomásának és térfogatának szorzata állandó, ha a hőmérséklet nem változik.

³⁰ US EPA O. 2024.

- egyedi kibocsátási határértéket;
- ösztömögű kibocsátási határértéket kell alkalmazni, illetve megállapítani.³¹

Véleményünk szerint ezt a hazai jogszabály meglehetősen szigorú határértékekkel szabályozza. Ezt a megállapítást arra alapozzuk, hogy a spanyolországi INSST – Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo 2022-ben kiadott egy *Vegyí anyagok munkahelyi expozíciós határértékei* elnevezésű anyagot,³² amelyben a munkahelyi szerves vegyületek expozíciós határértékeinek legújabb mérési eredményeit teszik közzé.

Összevetve az említett mérési eredményeket, illetve a Magyarországon 2011-ben megalkotott rendeletben foglalt mérőszámokat, az állapítható meg, hogy a hazai szabályozás sokkal szigorúbb kibocsátási határértékeket állapít meg, mint a nemzetközi gyakorlat. Például az etilbenzol esetében a INSST által megadott munkahelyi expozíciós határérték 441 (mg/m³), míg a 4/2011. (I. 14.) VM rendelet 6. melléklete szerint 150 (mg/m³). Hasonló eltérések figyelhetők meg etil-acetát, p-xilol, m-xilol vagy N-butil-acetát esetében is, de ezt a felsorolást még hosszasan taglalhatnánk.

Az illékony szerves vegyületek között olyan anyagok is megtalálhatók (az akrilnitril, a benzol, az 1–3-butadién, a triklór-etilén, a vinil-klorid, illetve a formaldehid), amelyeket a Nemzetközi Rákkutató Ügynökség (IARC – International Agency for Research on Cancer) karcinogénnek minősített. Minden esetben törekedni kell ezeknek az anyagoknak a kiváltására, de ha ez nem lehetséges, akkor minden rákkeltő anyaggal szembeni expozíciónak a műszakilag lehetséges legalacsonyabbnak kell lennie.³³ Jelentős szerep hárul a szellőztetés kérdéére is, hiszen ez alapvetően befolyásolhatja a szennyezőanyag-koncentrációt az adott területen. Ez a szellőztetés nem csak ipari méretekben képzelhető el. Egy szlovák tanulmány szerint³⁴ a normál háztartások takarítása közben történő szellőztetésnek is komoly egészségmegőrző hatásai lehetnek. A háztartásokban – tehát nem munkahelyi használatban – az említett tanulmány szerint a teljes illékony szerves vegyületek vonatkozásában a referenciaszint általában 200 µg/m³. Ahogy már említettük, az additív gyártástechnológia nem kizárólag egy szervezett munkavégzés keretében megvalósuló alkatrész- vagy késztermék-előállítás. Ebből adódóan arra is fel kell hívni a figyelmet, hogy ha valaki otthon, saját lakásában állít elő valamilyen terméket, akkor milyen biztonsági intézkedéseket kell megtenni annak érdekében, hogy ez a tevékenység ne legyen negatív hatással a helyszínen tartózkodók egészségére.

A beltéri levegő minőségével és annak befolyásoló tényezőivel számtalan tanulmány foglalkozott már. Véleményünk szerint az egyik legmeghatározóbb anyag ezek közül az angliai közegészségügyi útmutató,³⁵ amely az Egyesült Királyságban a beltéri levegő minőségére vonatkozó irányelveket foglalja össze a kiválasztott illékony szerves vegyületek vonatkozásában.

³¹ 4/2011. (I. 14.) VM rendelet 5. §.

³² INSST 2022.

³³ Az egyes rákkeltő légszennyező anyagok kibocsátási határértékeivel a 4/2011. (I. 14.) VM rendelet 6. melléklet, 2.5.1. táblázata foglalkozik részletesen.

³⁴ MEČIAROVÁ et al. 2017.

³⁵ Public Health England 2019.

1. táblázat: Beltéri levegőminőségi irányelvek a kiválasztott illékony szerves vegyülethez

Illékony szerves vegyület	CAS-azonosító	Határértékek ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Forrás
		Rövid távon	Hosszú távon	
Acetaldehid	75-07-0	1420 (1 óra)	280 (1 nap)	Health Canada (2018)
α -pinén	80-56-8	45 000 (30 perc)	4500 (1 nap)	EPHECT (Trantallidi et al., 2015)
D-limonén	5989-27-5	90 000 (30 perc)	9000 (1 nap)	EPHECT (Trantallidi et al., 2015)
Formaldehid	50-00-0	100 (30 perc)	10 (1 év)	Egészségügyi Világszervezet (2010)
Sztirol	100-42-5	Nincs adat	850 (1 év)	Health Canada (2018)
Tetraklór-etilén	127-18-4	Nincs adat	40 (1 nap)	Health Canada (2018)
Toluol	108-88-3	15 000 (8 óra)	2300 (1 nap)	Health Canada (2018)
Xilol-keverék	1330-20-7	Nincs adat	100 (1 év)	Health Canada (2018)

Forrás: a szerzők szerkesztése *Public Health England 2019: 9. alapján*

Felmerül a kérdés, hogy miért fontos ez, illetve az ehhez hasonló adatsorokban foglalt referenciaérték. Nos, a válasz egyszerű: az illékony szerves vegyületek – a munkahelyi határértékek alatti koncentrációban – általában az olvasztott filament gyártás (FDM, FFF vagy 3F) során kerülnek a légtérbe.³⁶ Az említett nyomtatási típusnál az akrilnitril-butadién-sztirol (ABS) anyaggal történő termék-előállítás esetén sztirolt bocsát ki, míg a politejsav (PLA) alkalmazásakor gyakran fordul elő metil-metakrilát.³⁷

Annak érdekében, hogy akár a munkahelyen, akár az otthonainkban alkalmazzuk az additív gyártástechnológia elemeit, és megőrizzük egészségünket, a következő lépéseket kell megtennünk:

- a helyszíntől függetlenül ellenőriznünk (ellenőriztetnünk) kell a munkabiztonsági szabályokat;
- folyamatosan alkalmazni kell az egyéni, illetve kollektív védőeszközöket;
- végre kell hajtanunk a levegőminőség ellenőrzését, ami magában foglalja a klímaméterek ellenőrzését és a kockázatos vegyi anyagok mérését;
- a rendelkezésünkre álló információk és mérési eredmények alapján meg kell becsülnünk az expozíció mértékét.

A nem szervezett munkavégzés keretében alkalmazott 3D-nyomtatási eljárások esetében a szakirodalom azt tartja relevánsnak, ha direkt kijelzésű műszereket alkalmaznak az illékony szerves anyagok mérésére. Természetesen ennek olyan előnyei vannak, mint a riasztás/figyelmeztetés lehetősége, az azonnali eredmények kimutatása és persze a relatív költség-hatékonyság. Arról azonban nem szabad megfeledkezni, hogy az ilyen eszközök hátrányaiként megjelenik a pontatlanság, az érzékenység, a szelektivitás, illetve a kalibráció vagy a stabilitás mint hiányosság is. A direkt kijelzésű mérőberendezések, még ha néha pontatlanok is, arra mindenképpen alkalmasak, hogy felkeltsék a figyelmet, ha valamilyen változás következik be az otthonunk levegőminőségében.

³⁶ KARWASZ–OSIŃSKI–ŁUKASZEWSKI 2022.

³⁷ MOHAMMADIAN–NASIRZADEH 2021.

Nanoanyagok és nanorészecskék

A nanorészecskék apró méretű, környezetüktől jól elkülönülő objektumok. Nanorészecskéknek – az ISO/TS 27687 szabvány szerint – azokat az anyagokat szokás nevezni, amelyek mérete legalább két dimenzióban az 1 és 100 nm közötti tartományba esik.³⁸ A rúd alakú (tűszerű) nanorészecskék esetében az átmérő nanométeres, míg a hosszúság akár több mikron méretű is lehet. A nanorészecskék általában monoform (gömbszerű) alakúak, ennek termodinamikai oka van, ami a felületi energia minimalizálása miatt alakul ki. Ha a nanorészecske kémiai összetétele nem heterogén, akkor gyakran találkozhatunk deformált gömb alakzattal is.³⁹

A nanoanyagok olyan természetes, véletlenszerű vagy mesterségesen előállított anyagok, amelyek szilárd, önmagukban vagy aggregátumokban azonosítható részecskékből állnak, és ahol a számalapú méreteloszlás legalább fele megfelel az alábbi feltételek legalább egyikének:

- a részecske egy vagy több külső mérete 1 és 100 nm közötti mérettartományba esik;
- a részecske hosszúkás alakú (rúd, szál vagy cső), ahol két külső méret kisebb, mint 1 nm, a másik méret pedig nagyobb, mint 100 nm;
- a részecske lemezszerű alakú, ahol az egyik külső mérete kisebb, mint 1 nm, a többi mérete pedig nagyobb, mint 100 nm.

Mivel nem állnak rendelkezésre olyan levegő minőségével foglalkozó szabványok, amelyek a levegőben szálló nanorészecskéknek való kitettség szabályozását segítenék elő, és ebből adódóan nincsenek konszenzusos mérési módszerek és eszközök sem, nagyon nehéz a megfelelő védelmet kialakítani.⁴⁰ Nyilvánvaló azonban, hogy a káros hatások elsősorban a nanorészecskék felületétől függenek. Ez abból adódik, hogy a nanorészecskék felület/térfogat arányú ugyanazon anyaghoz képest ömlesztett formában jobb mérőszámot jelentenek a kockázatok felmérésére, mint a hagyományosan alkalmazott tömegalapú megközelítés.⁴¹

A nanorészecskék mérésének fontosságát a legjobban egy példán keresztül lehet bemutatni. Ha 0,1 g tömeg van a levegőben, amelynek sűrűsége $2,65 \text{ g/cm}^3$, akkor könnyen kiszámítható, hogy különböző méretű részecskékből hány darab részecskeegység lehet a levegőben.

³⁸ Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, (SCENIHR), European Commission Health & Consumer Protection Directorate-General Directorate C–Public Health and Risk Assessment C7 – Risk assessment 2006.

³⁹ BÓTA 2013.

⁴⁰ GARCIA-GONZALEZ et al. 2022.

⁴¹ GARCIA-GONZALEZ – POLA 2023.

2. táblázat: Részecskék számának és felületének szimulációja a részecskeméret függvényében

Méret	Részecskeszám	Terület (cm ²)	Terület (m ²)
1 µm	72,071,806,726,62	2264,14	0,2264
10 µm	72,071,806,73	226,41	0,0226
5 µm	576,574,453,81	452,83	0,0453
100 nm	72,071,806,726,621,50	22641,36	2,2641
10 nm	72,071,806,726,621,500,00	226413,58	22,6414
1 nm	72,071,806,726,621,500,000,00	2264135,81	226,4136

Forrás: a szerzők szerkesztése GARCIA-GONZALEZ – POLA 2023 alapján

A táblázat értékeiből jól kiolvasható, hogy ha a 0,1 g tömegű részecskék mindegyike 1 µm méretű lenne, akkor a részecske területe körülbelül 0,23 m² területet fedne le. Az 1 nm részecskeméret esetén a teljes lefedett terület 226 m² lehet. A nanorészecskék a tüdőbe bekerülve komoly irritációt okozhatnak, és ahogy a számok mutatják, mérettől függően a legrosszabb esetben 0,22 m² – 226 m² felületen képesek kifejteni hatásukat. Egyes becslések szerint egy teljesen kifejlett ember tüdeje 70–100 m² lehet. Mivel a nanorészecskék nem egyenletesen rakódnak le a tüdőben, nem lehet csak becslésekbe bocsátkozni annak valószínűségét illetően, hogy milyen lerakódás okozhat tüneteket és elváltozásokat.

Az látható, hogy a nanorészecskék mérete alapvetően befolyásoló tényező a védekezés tekintetében, de meg kell ismernünk azokat a referenciaszinteket is, amelyek munkavédelmi szempontból lehetnek relevánsak. Ez, ahogy már korábban is írtuk, azért nehéz feladat, mert a különböző típusú nanorészecskék eltérő vagy ismeretlen egészségügyi hatással bírnak. A területet kutató szakemberek jelenleg is foglalkoznak ennek a problémának a megoldásával, de egyelőre nem született olyan eredmény, amelyet releváns forrásként be lehetne mutatni, illetve amit minősített szervezetek is elfogadnának.

„Számos tanulmány foglalkozik a 3D-nyomatás során fellépő részecskebocsátással. Az összes nemzetközi szakirodalom egyetért abban, hogy a belélegezhető por mérése jóval az OELV (3 mg/m³) alatt van, így a 3D-nyomatás nem jelent kockázatot, ha csak a por tömegének hagyományos és hivatalos értékelését (koncentráció mg/m³) vesszük figyelembe.”⁴²

Egészségügyi kockázatok

Az additív gyártástechnológia egészségre, emberi szervezetre gyakorolt hatásait bár már vizsgálják, még mindig nem kapunk megfelelő referenciaértékeket, ami annak köszönhető, hogy a gyártástechnológia az elmúlt években kezdett el rohamosan terjedni. Ahhoz, hogy a káros hatásokat egyáltalán vizsgálni lehessen, akár többéves vagy évtizedes expozíció is szükséges lehet.

A 3D-nyomatók által termelt gázok, gőzök, ködök és porok hatásának kitéve, folyamatos expozíció esetén különböző tüdőbetegségek is kialakulhatnak, és azok az egyéni érzékenységek

⁴² GARCIA-GONZALEZ – POLA 2023 alapján fordították a szerzők.

függvényében okozhatnak enyhébb vagy súlyosabb tüneteket.⁴³ Azt is fontos megemlíteni, hogy a technológia alkalmazását csak nagy körültekintéssel és megfelelő orvosi vizsgálatokat követően érdemes megkezdeni, mivel hazánkban is nagyon sok az asztmás beteg, így érdemes nemcsak a nyomtatást végző (felügyelő) személy állapotáról tájékozódni, hanem a nyomtató közvetlen környezetében lévő személyek egészségügyi állapotáról is.

A különböző nylonnyomtatások során keletkező anyagok nemcsak a tüdőt, hanem a szemet és a nyálkahártyát is irritálhatják, illetve szélsőséges esetben idegrendszeri elváltozásokat is eredményezhetnek. Nylonnal történő nyomtatásnál a megállapított határértéknél magasabb CO₂-koncentrációkat mértek, és a különböző tesztek során szén-monoxid, szénhidrogén, ammónia, kaprolaktám és hidrogén-cianid is kimutatható volt.⁴⁴

Nem feledkezhetünk meg a különböző anyagokkal közvetlenül érintkező bőrfelületekről sem. A színezett filamentek tartalmazhatnak alumíniumot, arzént, cinket, rezet, ónt, nikkelt, krómot és egyéb vegyi anyagokat, illetve a nyomtatás során reaktív oxigénfajták keletkezhetnek. Arra is van példa, hogy zárt nyomtatóban 9 µg/m³ ózonszintet mutattak ki. Az ózon és a telítetlen illékony szerves vegyületek kölcsönhatása reaktív termékeket hozhat létre, mint például karbonil vegyületek és másodlagos szerves aeroszolok.

A filamentumok fejlesztésére a nagyon népszerű felhasználásnak köszönhetően van szükség, de ehhez olyan, többnyire költséghatékony adalékokat használnak fel, mint a szerves színezékek, fémrészcsekék, nanoanyagok, fémtartalmú égésgátlók, antioxidánsok, hőstabilizátorok és katalizátorok. Ezeknek az anyagoknak a felhasználása nemcsak a környezetre jelent terhelést, de az élő szöveteket, így az emberi szervezetet is megterheli, rombolja.

A fémporos és gyantanyomtatók veszélyeit is folyamatosan vizsgálják, de egyelőre itt is kevés a referenciaérték. Az azonban bizonyos, hogy míg előbbi esetében az olyan anyagok, mint az alumínium, a króm, a nikkelt, a kobalt, utóbbi esetében a gyantával kevert tisztítóalkohol okozhat károsodást.

Következtetések

Annak ellenére, hogy az additív gyártástechnológia már egy évtizedek óta jelen lévő technológiai eljárás, csak az elmúlt években vált lakossági felhasználású technikává. Magának a technológiának az előnyeit nap mint nap láthatjuk, de a lehetséges alkalmazási problémákról, káros hatásokról még keveset tudunk. A témával foglalkozó kutatók folyamatosan vizsgálják a 3D-nyomtatás során fellépő veszélyeket, veszélyforrásokat, de sok esetben még mindig csak sejteni lehet, hogy a technológiai fejlődés és annak robbanásszerű elterjedése milyen negatív hatásokat gyakorolhat majd az alkalmazók és a technológia közvetlen környezetében élők szervezetére, egészségére.

Megállapítottuk, hogy a jogi szabályozás ellenére nemcsak a szervezett munkavégzés keretében tevékenykedő személyek vannak kitéve a veszélyeknek, hanem az otthon, saját

⁴³ GARCIA-GONZALEZ – POLA 2023.

⁴⁴ MOHAMMADIAN – NASIRZADEH 2021.

lakókörnyezetükben a 3D-technológiát használó személyek is. A jogi szabályozást ennek érdekében javasolt lenne felülvizsgálni, hiszen az elmúlt években a *home office*, az otthoni munkavégzés egyre népszerűbb lett, de annak szabályozása még nem megfelelő.

Az additív gyártástechnológia során kibocsátott szennyező anyagok egy részét már azonosították, és egyes országokban már paramétereket is állapítottak meg annak érdekében, hogy a 3D-nyomatás során keletkező anyagok ne károsítsák az emberi szervezetet, azonban országonként a védelmi stratégiák és az alkalmazási kritériumok nem egységesek. Véleményünk szerint olyan nemzetközi szabványosított módszert, eljárásrendet kellene kialakítani, amely alapján a különböző vizsgálati eredmények összehasonlíthatók.

Fontos, hogy a munkaterületeken a megfelelő óvintézkedéseket végrehajtsák, mielőtt a gyártástechnológia elemeit alkalmaznánk. Ez természetesen független a szervezett vagy otthoni munkavégzés (akár a hobbicélú felhasználás) helyszínétől, hiszen maga az áramellátás, a szellőztetés minden tekintetben gondos előkészítést igényel. Azt sem szabad elfelejteni, hogy a 3D-nyomatás során potenciálisan veszélyes anyagok, illékony szerves vegyületek, nanorészecskék és egyes típusoknál fémek is a légtérbe kerülnek, amelyek az expozíció függvényében komoly egészségkárosító hatással is bírhatnak.

Látható, hogy a fő problémát maga a légszennyezés okozza, így fontos felülvizsgálni azokat a szabályzókat, amelyek a levegő minőségével is foglalkoznak. Ez abból adódóan is releváns, hogy a porokra vonatkozó jelenlegi szabályozás a tömegkoncentráción ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) alapul, de a 3D-nyomatás során kibocsátott szintek jóval alacsonyabbak ezeknél az értékeknél. A nanorészecskék koncentrációs szintje azonban annak ellenére, hogy nincs jogszabályban, káros lehet az egészségre.

Véleményünk szerint, ha azonnali megoldást keresünk a felvetett problémákra, akkor a fő feladat a szellőztetés megoldása. Mindenképp szükséges olyan elszívó berendezéseket alkalmazni az additív gyártástechnológia elemeinél, amelyek nagy hatékonyságú szűrőkkel vannak ellátva, illetve otthoni felhasználás esetén a gondos szellőztetés is jelentősen csökkentheti a veszély mértékét. Arra azonban oda kell figyelni, hogy ezek az elszívó berendezések plusz energiaigénnyel rendelkeznek, és a szűrőfelületeik is (a hosszú időtartamú használat miatt) gyorsabban használódnak el.

A technológia fejlődése és gyors terjedése is elősegíti az alapanyagok iránt jelentkező igényeket. Az elmúlt években a piacon fellelhető filamentek típusai csaknem megszázorozódtak, így megjelentek a silányabb minőségű alapanyagok is, amelyek esetenként tiltott vegyszereket, színezőanyagokat is tartalmazhatnak. Fontos tehát, hogy csak minősített és megbízható gyártó termékeit alkalmazzuk tevékenységünk során.

Végül a legfontosabb javaslatunk, hogy ha bármilyen problémát észlelünk, legyen az gyakori fejfájás, érzékeny bőrfelület vagy köhögés, illetve fáradékonyság a nyomtatások során, akkor haladéktalanul forduljunk orvoshoz, mert ez akár hosszú távon életet is menthet. Ne feledjük, hogy ez a technológia még „gyerekcipőben jár” nincsenek évtizedekre visszanyúló expozíciós eredmények, hatásvizsgálatok, így a hosszú távú hatások tekintetében még bőven van mit elemezni és értékelni.

Felhasznált irodalom

- BÓTA Attila (2013): Nanorészecskék általános fizikai-kémiai tulajdonságai. *Természet Világa*, 144(11), 486–488. Online: https://epa.oszk.hu/02900/02926/00011/pdf/EPA02926_termeszeti_vilaga_2013_11_486-488.pdf
- BYRLEY, Peter et al. (2019): Particle Emissions from Fused Deposition Modeling 3D Printers: Evaluation and Meta-Analysis. *Science of the Total Environment*, 655, 395–407. Online: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.070>
- ELLAM, Richard (2016): 3D Printing: You Read It Here First. *NewScientist*, 2016. november 12–18., 52–53. Online: www.dl.apadana-ielts.com/Magazine/newscientist/New_Scientist_-_November_12-16_2016.pdf
- GARCIA-GONZALEZ, Hector et al. (2022): Particulate Matter Characterization in a Hospital's Underground Car Park. *Powders*, 1(4), 194–206. Online: <https://doi.org/10.3390/powders1040013>
- GARCIA-GONZALEZ, Hector – POLA, Teresa Lopez (2023): Health and Safety in 3D Printing; Advances in 3D Printing. In SHARMA, Ashutosh (szerk.): *Advances 3D printing*. Ebook. Online: <https://doi.org/10.5772/intechopen.109439>
- Grand View Research (2019): *3D Printing Market Analysis, 2016–2017*. Online: www.grandviewresearch.com/industry-analysis/3d-printing-industry-analysis/request/rs1
- GU, Jianwei et al. (2019): Characterization of Particulate and Gaseous Pollutants Emitted During Operation of a Desktop 3D Printer. *Environment International*, 123, 476–485. Online: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.12.014>
- Health Canada (2018). Online: www.canada.ca/en/health-canada.html
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), O.A., M.P. (2022): *Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España*. Online: www.insst.es/documents/94886/2927460/LEP%202022.pdf
- KARWASZ, Anna – OSIŃSKI, Filip – ŁUKASZEWSKI, Krzysztof (2022): Pollutants Emitted from 3D Printers to Operators. *Sustainability*, 14(3), 1400. Online: <https://doi.org/10.3390/su14031400>
- KWON, Ohhun et al. (2017): Characterization and Control of Nanoparticle Emission During 3D Printing. *Environmental Science & Technology*, 51(18), 10357–10368. Online: <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b01454>
- MEČIAROVÁ, Ľudmila et al. (2017): Factors Effecting the Total Volatile Organic Compound (TVOC) Concentrations in Slovak Households. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(12), 1443. Online: <https://doi.org/10.3390/ijerph14121443>
- MOHAMMADIAN, Yousef – NASIRZADEH, Nafiseh (2021): Toxicity Risks of Occupational Exposure in 3D Printing and Bioprinting Industries: A Systematic Review. *Toxicology and Industrial Health*, 37(9), 573–584. Online: <https://doi.org/10.1177/07482337211031691>
- Public Health England (2019): Indoor Air Quality Guidelines for Selected Volatile Organic Compounds (VOCs) in the UK. Online: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5d7a2912ed-915d522e4164a5/VO_statement_Final_12092019_CS_1.pdf
- Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR), European Commission Health & Consumer Protection Directorate-General Directorate C – Public Health and Risk Assessment C7 – Risk Assessment (2006).
- SZÉKELY Katalin: *Munkahelyi balesetek megelőzése és a munkahigiénében rejlő lehetőségek*. Online: <http://users.atw.hu/balesetmegeloz/munka1.html>
- TRANTALLIDI, Marilena – DIMITROULOPOULOU, C. – WOLKOFF, Peder – KEPHALOPOULOS, Stylianos – CARRER, P. (2015): EPHECT III: Health Risk Assessment of Exposure to Household Consumer Products. *Science of the Total Environment*, 536, 903–913. Online: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.123>

- US EPA O. (2024): *Volatile Organic Compounds' Impact on Indoor Air Quality*. Online: www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic-compounds-impact-indoor-air-quality
- WHO World Health Organisation (2010): *Guidelines for Indoor Air Quality*. Online: www.who.int/publications/i/item/9789289002134

Jogi források

- Magyarország Alaptörvénye (2011. április 25.)
1993. évi XCIII. törvény a munkavédelemről
- 5/1993. (XII. 6.) MüM rendelet a munkavédelemről szóló 1993. évi XCIII. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról
- 4/2011. (I. 4.) VM rendelet a levegőterheltségi szint határértékeiről és a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről
- 25/2024. (II. 4.) Korm. rendelet a munkavédelmi bírság mértékéről és a kiszabására vonatkozó részletes szabályokról, valamint a munkabiztonsági szaktevékenység végzésére jogosult személyek nyilvántartásának és továbbképzésének szabályairól

Lajtos Luca,¹ Vég Róbert²

Litofán technológia 3D-nyomtatással történő alkalmazása és annak lehetséges katonai vonatkozásai

Lithophane Technology 3D Printing and Its Possible Military Implications

A 3D-nyomtatás ma már széles körben elterjedt additív gyártástechnológia, amelyet a hobbi célú felhasználás mellett az iparban is széleskörűen alkalmaznak. Számos különböző technológia alkalmazásával széles körű anyagfelhasználással elő lehet állítani a 3D-nyomtatott termékeket. Az elmúlt évszázadokban már készítettek litofán termékeket, de a 3D-nyomtatás új lendületet adott ennek a technológiának, amellyel esztétikus tárgyakat lehet előállítani. A cikk feldolgozza a litofánok történetét és a 3D-nyomtatással történő előállításának lehetőségeit. Kísérletek végzésével tesz javaslatot egyes nyomtatóbeállítási paraméterekre, és megvizsgálja a technika katonai alkalmazásának lehetőségeit.

Kulcsszavak: kitöltési minta, kitöltési tényező, 3D-nyomtatás, litofán

3D printing is now a widespread additive manufacturing technology, widely used in industry as well as for hobby purposes. A wide variety of technologies can be used to produce 3D printed products using a wide range of materials. Lithophane products have been made in centuries past, but 3D printing has given a new impetus to this technology, which can be used to create aesthetic objects. The article discusses the history of lithophanes and the possibilities of producing them using 3D printing. It will carry out experiments to propose specific printer settings and investigate the potential military applications of the technique.

Keywords: filling pattern, filling factor, 3D printing, Lithophane

¹ Honvéd tisztjelölt, e-mail: lajtos.luc@gmail.com

² Egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Haditechnikai Tanszék, e-mail: vegh.robort@uni-nke.hu

Bevezetés

A 3D-nyomtatás olyan additív gyártási folyamat, amelynek során egyedi, akár igen bonyolult geometriájú szilárd tárgyakat vagy termékeket állítanak elő egy előre megtervezett (CAD³-) fájlból. A gyártási folyamatot mindig megelőzi egy digitális modell létrehozása. A kívánt alakot úgy hozzák létre, hogy fokozatosan egymásra épülnek az anyagrétegek, ahol minden egyes réteg a végtermék virtuális szűk keresztmetszetének tekinthető.⁴ Az alapján, hogy milyen fizikai eljárással kivitelezik az adott munkadarabot, ma már számos technológia (például szálolvasztás, sztereolitográfia vagy szelektív lézeres szinterezés elvét alkalmazó), illetve az egyes technológiák során felhasználható alapanyag (például műanyagok, kompozitok, fémek, félvezetők, építőipari vagy akár szerves anyagok, élő szövetek) áll a kutatók és fejlesztők rendelkezésére. Ezek felhasználásával változatos, akár bonyolult geometriájú testek, struktúrák, különböző mechanikai, villamos, termikus vagy vegyi tulajdonságokkal rendelkező mozgó gépek, elektronikai eszközök vagy komplex rendszerek is készíthetők, amelyek polgári és katonai felhasználása egyaránt lehetséges.⁵ A 3D-nyomtatással létrehozott tárgyak gyakran könnyűek és erősek, valamint lehetővé teszik az anyagok optimalizált felhasználását. Környezetvédelmi szempontból előnyös, hogy ez a gyártástechnológia lehetővé teszi az anyagfelhasználás minimalizálását, ezzel a keletkező hulladék mennyiségének a csökkentését. A nyomtatott termék felületi minősége nagyban függ a lerakott rétegek vastagságától, a nyomtatási sebességtől, valamint a munkadarab tájolásától. Fontos figyelembe venni a termék geometriáját, mivel a nyomtatandó alkatrész méretének figyelembevételével szükség lehet alátámasztások alkalmazására. A nyomtatás rétegekialakítása meghatározza a mechanikai tulajdonságokat és a késztermék méretpontosságát, valamint hogy a nyomtató milyen gyorsan tudja előállítani az alkatrészt, és mennyi utómunkára van szükség. Az ipari alkalmazások mellett (például orvostudomány, járműipar, építőipar, űrkutatás) a 3D-nyomtatás jelentős szerepet játszik a kutatás és fejlesztés területén is, ezzel elősegítve az új anyagok és termékek gyors prototípusgyártását. A kompozit alapanyagok és a szálerősítéses nyomtatás átmenetet teremtenek a műanyagok és a fém alapanyagok között az anyagtulajdonsági szempontok alapján, ami kibővíti ennek a gyártási eljárásnak a felhasználási lehetőségeit.⁶ A 3D-nyomtatást már széleskörűen használják a nagy járműgyártó vállalatoknál, aminek következtében javul az ellátásbiztonságuk is. Hasonló elgondolások alapján, komoly erőfeszítések irányulnak a 3D-nyomtatás katonai alkalmazhatóságának vizsgálatára is.⁷ A litofán technikát a 3D-nyomtatás során alkalmazzák, de nagyrészt csak esztétikai elemek és ajándéktárgyak előállításánál, ezért célszerű megvizsgálni annak lehetőségét, hogy más, akár ipari alkalmazási területen is hasznos lehet-e.

³ CAD: *computer-aided design*, vagyis számítógépes tervezés.

⁴ ZENTAY–HEGEDŰS–VÉGVÁRI 2022: 56–60.

⁵ GÁL–NÉMETH 2019.

⁶ GÁVAY 2023.

⁷ VÉGVÁRI 2023: 179.

A litofánok megjelenése

Franciaországban, Németországban és Poroszországban szinte egyidejűleg jelentek meg az európai litofánok, majd Angliában az 1820-as évek végén. Más vélemények szerint 1827-ben Paul de Bourgoing⁸ báró (1791–1864) találta fel a litofán eljárást, amelynek jogait 1828-ban szerezte meg Robert Griffith Jones brit férfi, majd engedélyt adott a litofánok gyártására az angol gyáraknak. Azonban vannak, akik úgy gondolják, hogy a porosz Georg Friedrich Christoph volt az a személy, aki tökéletesítette a litofán folyamatot 1828-ban. Mások szerint a technikát Berlinben és Németország más részein olyan gyártók fejlesztették ki, mint a Königlich Porzellan-Manufaktur és a Porzellanmanufaktur. Ez az oka annak, hogy a litofánokat néha berlini fóliának nevezik.⁹

Sok történész azonban úgy gondolja, hogy közel ezer évvel ezelőttről, a kínai Tang-dinasztia idejéből származott az ötlet inspirációja. R. L. Hobson¹⁰ tudós szerint a kínaiak a Ming-dinasztia idején készítettek egy „vékonyabb mint a papír” tálat titkos díszítéssel. W. Hodgson a kínai kekszporcelánt „kis képernyő tájkép domborművei” írta le, amely hasonlít a Svájcban gyártott fehér porcelánra. Az európai litofánok lehetséges elődei a Song-dinasztia idejéből származnak Kínából.

Ezeket a litofán termékeket (Qingbal asztali edények) vésett és formázott virág-, hal- és mádmotívumokkal mutatták be. A japán litofán teáskészleteket (1. ábra) *dragonware*-nek nevezik, és nagyon népszerűek voltak. A 20. század elején számos litofánkutató kereste és teremtett kapcsolatot a 18. és 19. századi európai kerámia és a kínai porcelán között. Franciaországban a 18. században a Blanc de Chine¹¹ kifejezést használták az erősen áttetsző kínai porcelánra.¹²

A 17. és 18. században a francia, német és angol porcelángyárak a kínai Blanc de Chine kifejezést utánozták. Ugyanezek a gyárak a 19. század elején kezdtek el litofánokat gyártani. Az európai litofánok technikai és esztétikai inspirációja a kínai munkákból származott, de a kettő közötti pontos kapcsolat ma is kérdéses. A hiányzó lánc egy biztosan ismert litofán, amelyet valahol Kínában gyártottak az 1800-as évek előtt. Az első európai litofánokat szakavatott mesteremberek készítették. A képeket forró viaszba vágták és egy hátulról megvilágított üveglapra helyezték.¹³ A viaszt vékony és vastag rétegek váltakozásával vágták, így a vékony részeket a fény áthatolt, míg a vastag részek elzárták a fényt. Így a fénykülönbségek a kép részleteit mutatták meg. A litofánokat a 19. században Ausztriában, Belgiumban, a Cseh Köztársaságban, Dániában, Angliában, Franciaországban, Németországban, Írországban, Olaszországban, Norvégiában, Portugáliában, Oroszországban, Svédországban és Walesben készítették. A 18. század közepén több százezer litofánt készítettek olyan cégek, mint az angliai Wedgwood, a drezdai Meissen és az írországi Belleek.¹⁴

⁸ Paul-Charles-Amable de Bourgoing.

⁹ ROMULE 2024.

¹⁰ Robert Lockhart Hobson.

¹¹ Kínai fehér.

¹² MARCHANT 2024.

¹³ 3D moments.

¹⁴ CARNEY 2007.

Az Egyesült Államokban is gyártottak litofánokat abban az időben, akárcsak Európában. A litofánok népszerű témái vallási témák, portrék, irodalmi gondolatok, például a *Biblia* történetei és egyéb remekművek voltak. Egyes litofánok még olyan eseményekről is megemlékeztek, mint például az Eiffel-torony 1889-es megnyitása. A litofánok felkeltették az érdeklődést az elektromosság előtti kor gyengén megvilágított otthonaiban, mert még halvány gyertyafényben is meg lehetett jeleníteni képeiket, a természeti jelenetektől kezdve a történelmi katonai vagy politikai személyiségeken át a romantikus érdeklődésű személyekig. Amikor a fényképezés és az elektromosság elterjedt, a litofánok iránti érdeklődés alábbhagyott, és a 20. századra már szinte nem is készültek.¹⁵

A litofánok mindenféle formátumban előfordultak akkoriban, az ablaktábláktól a gyertyatartókig, de megtalálhatók voltak kandallók előtt, éjjeli lámpákban, tealámpákban, gyertyatartókban, sörösüvegekben, korsókban és csészékben is. Néhány erotikus képekkel díszített ajándéktárgyat is kiállítottak, valamint olyan lámpákat, amelyek ritka miniatűr babaházi bútorok voltak (1. ábra).



1. ábra: Litofán kép és lámpa

Forrás: <https://3dmoments.eu/litofan-tortenete/>, www.catawiki.com/hu/l/38050169-schierholz-plaue-asztali-lampa-litofan-lapokkal-porcelan

Henry Barnard, Samuel Colt első életrajzírója szerint Colt több tucatnyi litofánt rendelt és helyezett el új otthonában (Armsmead) a connecticuti Hartfordban, amelyeket 1855-ben és 1856-ban vásárolt Berlinben. Humoros litofánok kerültek Colt új otthonának biliárszobájába ablakaiba. A trafalgari csatát ábrázoló különösen érdekes volt. Barnard a litofánokat „igazi művészeti galériának” nevezte. Az 1857 és 1861 között az Armsmeadon készült képek több mint 100 litofánt ábrázoltak. Egy 1907-es fényképen Armsmead litofánjai még mindig a helyükön vannak. Colt számos fennmaradt litofánja ma a Wadsworth Atheneum Művészeti Múzeumban

¹⁵ OSSER 2022.

található. Samuel Coltnak 111 litofánja volt, ebből egy 1855-ben róla készült, széles körben terjesztett fényképen. Ezen a litofán portrén egy kis íróasztal mögött ül, jobb kezében egy övpisztolyt (Colt), bal kezében pedig egy iránytűt tart (2. ábra).



2. ábra: Samuel Colt litofánja 1855-ben, előlről és hátulról megvilágítva

Forrás: <https://3dmoments.eu/litofan-tortenete/>

A litofánok elkészítési módja

A litofánnak vékony anyagból kell készülnie, régebben többnyire porcelánból készítették különböző vastagságban. A vastagabb részek több fényt blokkolnak, mint a vékonyabbak, így az anyagon áthaladó fény különböző intenzitásai befolyásolhatók az anyag vastagságának játékával. Ezáltal különböző kontrasztok jönnek létre, amelyeket a szem a sötét különböző árnyalataként érzékelhet. Ha a mintát nagy részletességgel és pontossággal dolgozzák ki az anyagból, akkor valóság-hű képeket is létre lehet hozni.¹⁶

A 3D-nyomatott litofánoknak nem feltétlenül kell fehérnek lenniük, de a fény sokkal jobban áthatol a fehér filament szálon, ami jobb minőségű litofánokat eredményez. Természetesen lehetséges különböző színű litofánokat is nyomtatni, de ezek nem működnek olyan jól, mint a fehérek.

Sajnos nem lehetséges 3D-nyomatást készíteni képfájlból, pdf-ből vagy fényképből. Mindig szükség van egy 3D-modellre, mielőtt bármit is 3D-ben lehetne nyomtatni. A 3D-modell egy virtuális bemeneti adat, amelyre a 3D-nyomatónak szüksége van egy tárgy kinyomtatásához. Vannak ingyenes alkalmazások, például a lithophanemaker.com vagy itslitho.com, amelyek képesek a fényképeket 3D-modellé alakítani, amelyet utána a szeletelő programba kell illeszteni, majd következhet a nyomtatás.¹⁷

¹⁶ Lásd: www.schedel-gardens.org/what-is-a-lithophane.html

¹⁷ MILBURN 2024.

A litofánok vastagságát tekintve a 3-4 mm általában megfelelő, de mivel minden szál más-képp nyeli el a fényt, érdemes egy gyors tesztet végezni, mielőtt órákig nyomtatnánk egy teljes litofánt, hogy lássuk, nem túl sötét vagy túl világos-e ahhoz, hogy szép kontrasztot kapjunk.

Nyomtatásukhoz a PLA tűnik az optimális anyagnak. A legvékonyabb részek nyomtatáskor áttetszőnek tűnnek, és a vastagság növekedésével egyre sötétebbé válnak. Ez a hatás még hangsúlyosabbá válik, ha fehér PLA-t használunk. A litofánok számára a legjobb alapanyag a már említett, kiváló minőségű PLA, ezen belül pedig a Hatchbox White PLA 0,3 mm-es +/- mértpontossága miatt kedvező, az iparág egyik legjobbjá.

Amikor fényt helyezünk a litofán mögé, monokróm kép jön létre, ami azt jelenti, hogy csak egy szín fog megjelenni különböző intenzitással. Színes litofánok létrehozásához a fehér PLA-n áthaladó fényforrás fényét kell színeznünk a képen. A különösen művészi beállítottsággal rendelkezők akár a belső, akár a külső felületet is megfesthetik. Ez elzárja a fény egy részét, de a hagyományos litofánokat gyakran festik, ami esztétikus eredményt produkál.

A legjobb minőségű litofánok lassú nyomtatással készülnek, mivel általában minél lassabb a nyomtatás, annál jobb lesz a litofánnál kapott nyomtatási eredmény. Ezért a legfontosabb az idő és a minőség megválasztása. Nyomtatásoknál ideális a 45 mm/s sebességet választani, azonban a litofánoknál ez a nyomtatási sebesség már gyors lehet, igaz, ezzel a sebességgel is jó eredményeket lehet elérni anélkül, hogy túl sok részletet veszítenénk.¹⁸

Litofán képek nyomtatása

A litofán technológia alkalmazása során 3D-nyomtatással több képet is kinyomtatunk, az egyes paramétereket változtattuk. A kutatás során azt vizsgáltuk, hogy az előállított termék milyen tulajdonságokkal rendelkezik, és hogyan adja vissza a valós képet. A kapott eredményekből következtetéseket levonva meghatároztuk, hogy melyik a leghatékonyabb nyomtatási beállítás idő- és anyagtakarékosság szempontjából.

A kép felbontásának változtatása

Az első nyomtatási sorozat a kép felbontásának megváltoztatásával jött létre, amely során öt darab fotót készítettünk. Egy 3024 × 4032 képpont felbontású képet nyomtatunk egyre csökkenő képpontszámokkal. A cél az volt, hogy megvizsgáljuk, szükséges-e ilyen nagy felbontású képeket nyomtatni, vagy elegendő a gyengébb minőségű kép is ahhoz, hogy a valódi kép kivehető legyen. Ezeket a végtermékeket 50 × 35 mm nagyságban állítottuk elő, mivel nagyobb méretek esetén a magasabb felbontású képeknél a nyomtató nem tudta feldolgozni a fájlt, illetve nagyon magas volt a nyomtatási idő.

Az első kép 3024 × 4032 felbontású volt, és a következő nyomtatási paraméterekkel rendelkezett: minőségét tekintve a réteg magassága 0,1 mm, falvastagsága 1,2 mm és a falvonalak száma pedig 3 volt. Kitöltési sűrűsége 100%-os, kitöltése cikcakk mintával történt,

¹⁸ gobertpartners.com 2022.

valamint nyomtatási sebessége 70 mm/s volt, mivel nyomtatás során általában ez a nyomtatási sebesség jó kompromisszumos érték a kívánt termék jó minőségű elérése érdekében. Továbbá mindezek mellett a nyomtatás alatt álló tárgy hűtése 100%-ban engedélyezett, mivel a nyomtatás 200 °C-on történik, és a tárgyasztal hőmérséklete 60 °C. A továbbiakban még négy különböző felbontású képet nyomtattunk, amelyek 1701 × 2268, 756 × 1008, 189 × 252, valamint 60 × 81 képpontból álltak. A többi nyomtatási paramétert nem változtattuk annak érdekében, hogy látható eredmény jöjjön létre a képek elkészülése után.

A sorozat kinyomtatása után azt a következtetést vontuk le, hogy nem szükséges nagy felbontású képeket nyomtatni, mivel minél nagyobb a kép felbontása, annál több időt vesz igénybe a nyomtatás. Megállapítottuk, hogy 50 × 35 mm-es méretnél elegendő a 756 × 1008 képpontfelbontású képet nyomtatni, mivel így is megkapjuk a kívánt minőségű eredményt, így a továbbiakban ezt a felbontású képet alkalmazzuk. Azonban az ennél gyengébb felbontású képek nyomtatott változatának minősége jelentős mértékben csökken, mivel a 60 × 81-es képen szinte már alig volt kivehető a képen látható kutya pontos vonala.

Az alábbi képeken szemléltettük a nyomtatási eredményt: az előállított litofán termékeket egy LED-panel segítségével azonos fényerősséggel átvilágítottuk, így a képek láthatóvá váltak, aminek következtében szemmel látható különbségek fedezhetők fel a különböző felbontású képek között (3. ábra).

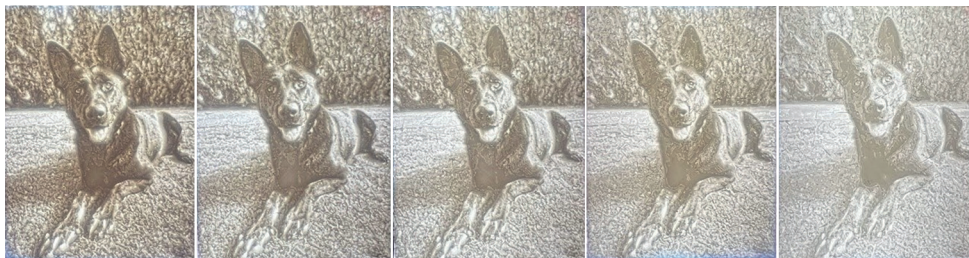


3. ábra: Nyomtatási eredmények szemléltetése (3024 × 4032, 1701 × 2268, 756 × 1008, 189 × 252, 60 × 81)
Forrás: a szerzők szerkesztése

Nyomtatott kép maximális vastagságának változtatása

A második sorozat nyomtatási kísérlet a kép maximális vastagságának változtatásával jött létre, ahol szintén öt eleme volt a sorozatnak. Itt már az előzőekben legalkalmasabbnak talált 759 × 1008 képpontfelbontású képet nyomtattunk a litofán technológia segítségével, a korábbiaktól eltérően 80 × 60 mm-es nagyságban. Alapvetően 2 mm, 2,5 mm, 3 mm, 3,5 mm, valamint 4 mm maximális rétegvastagsággal történt a nyomtatás. Azonban a többi beállítási tényezők változtatás nem történt, hogy a lehető leglátványosabb eredményt lehessen elérni a különbségek tekintetében. Így minden egyes test előállítása azonos nyomtatási sebességgel, azaz 70 m/s gyorsasággal valósult meg, valamint a kitöltési érték is 100%-os maradt.

Az elkészült nyomtatott képeknél (4. ábra) azt tapasztaltuk, hogy szemmel látható jelentős különbség volt a képek között, mivel a 4 mm-es, valamint a 2 mm-es anyagvastagság sem adott vissza szép eredményt. A kép színárnyalatai eltorzultak, a vékonynál pedig túlságosan egybefolytak, ennek következtében az elkészült kép nem adta vissza a kívánt eredményt. Optimálisnak így a 3 mm-es maximális vastagságú kép tűnt, mivel ez a változat hozta az eredeti kép legszebb mását, valamint a nyomtatási idő és az anyaghasználat is megfelelő volt.

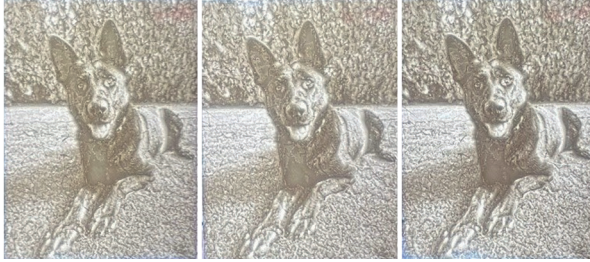


4. ábra: Különböző maximális vastagsággal elkészített litofán képek átvilágítva (4 mm, 3,5 mm, 3 mm, 2,5 mm, 2 mm)
Forrás: a szerzők szerkesztése

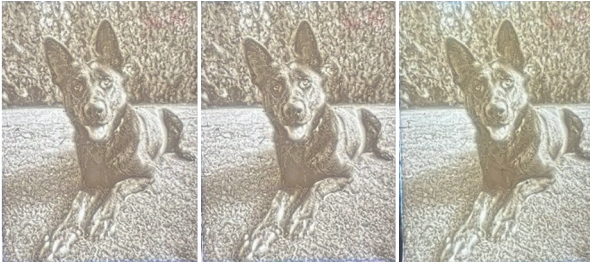
Nyomatott kép előállításának különböző nyomtatási sebességgel

A harmadik nyomtatási képsorozatot a nyomtatási sebesség növelésével, illetve csökkentésével állítottuk elő. Ezek a folyamatok hat különböző sebességgel valósultak meg, ahol a leggyorsabb 120 mm/s volt, majd ezt követően 20 egységgel folyamatosan csökkentve elértük a leglassabb nyomtatási sebességet, ami 20 mm/s volt. Tehát az értékek a következőképp alakultak: 120 mm/s, 100 mm/s, 80 mm/s, 60 mm/s, 40 mm/s és 20 mm/s. Kisebb nyomtatási sebességgel azért nem dolgoztunk, mert az már irreálisan hosszú nyomtatási időt vett volna igénybe a nagyobb méretű és felbontású képek esetében.

A nyomtatóval korábban készült testek esetében a nyomtatási sebesség mindig 70 mm/s volt, mivel ez az a sebesség, amivel az alkatrészek nyomtatása a legjobb eredményt hozza. Azonban szerettük volna megvizsgálni, hogy a litofánnymtatás esetében is szükséges-e ezt a sebességet használni, vagy a nyomtatási idő csökkentése érdekében alkalmazható gyorsabb nyomtatási sebesség. Az irodalmak a 45 mm/s gyorsaságú nyomtatást javasolják, vagy amennyiben lehetséges, a még ennél is lassabbat. Azonban a sorozat elkészülése során azt vettük észre, hogy szemmel láthatólag nincsenek nagy különbségek a képek minőségei között, ami abból adódhat, hogy ezeknek a képeknek a nagysága 80 × 60 mm; nagyobb méretben történő nyomtatásnál valószínűleg jobban szemügyre vehetők lennének az adódó különbségek (5. ábra, 6. ábra).



5. ábra: 120 mm/s, 100 mm/s, illetve 80 mm/s nyomtatási sebességgel készült litofán képek
Forrás: a szerzőszerkesztése

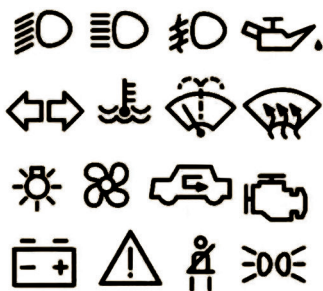


6. ábra: 60 mm/s, 40 mm/s, illetve 20 mm/s nyomtatási sebességgel készült litofán képek
Forrás: a szerzőszerkesztése

Litofán technika alkalmazása műszerfal-ellenőrző lámpák és lámpabúra előállítására

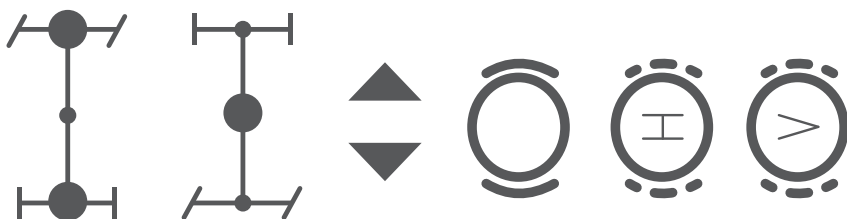
A litofán technika kikísérletezett paramétereinek beállításával nyomtattuk ki egy gépjármű-műszerfal visszajelző lámpáit (7. ábra). Az ábrákon jól láthatók és egyértelműen azonosíthatók a szimbólumok. A szimbólumok nyomtatásával azt szemléltetjük, hogy a litofán technológia lehetővé teszi e visszajelzők nyomtatását, így ezek alkalmazhatók lehetnek a katonai gépjárművekben is. Ahogyan az ábra mutatja, a fény megfelelő mértékben szűrődik át a fehér PLA-anyagon, emiatt a litofán technológia lehetővé teszi a Magyar Honvédségben rendszerített Mercedes-Benz Unimog 1300 terepjáró tehergépkocsi egyes műszerfal-visszajelző szimbólumainak nyomtatással való helyettesítését (8. ábra).

STOP!



7. ábra: „STOP” felirat és műszerfal-ellenőrző lámpa szimbólumai

Forrás: a szerzők szerkesztése



8. ábra: A Mercedes-Benz Unimog 1300 típusú terepjáró tehergépkocsi egyes műszerfal-visszajelző szimbólumai

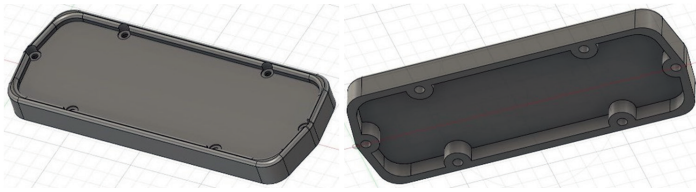
Forrás: a szerzők szerkesztése

Egy 3D műanyag nyomtatás legelső eleme a digitális modell létrehozása, ami többféleképpen is történhet.¹⁹ Az első lehetőség egy meglévő munkadarab modellezése 3D-szkener segítségével, a második lehetőség egy teljesen testre szabott modell létrehozása, amely a 3D-modellezésre kifejlesztett számítógépes szoftver segítségével végezhető el. Erre a célra számos szoftver áll rendelkezésre, többek között az AutoCAD, a FreeCAD, az OpenSCAD, a TinkerCAD, az Inventor, a Solid Edge és a Fusion360.²⁰ Munkánk során mi a Fusion 360 szoftverrel készítettük el a 3D-modelleket, az így kapott digitális modellt kellett átvinni stl-formátumban a szeletelő programba (Cura). A Cura program végezte el a munkadarab rétegekre bontását (szeletelését) és hozta létre a megfelelő szerszám pályákat.

A tervezés során az eredeti alkatrészről történt a méretfelvétel egyéni mérőeszközök segítségével, majd a 3D-modell megrajzolása (9. ábra).

¹⁹ HEGEDŰS 2023.

²⁰ GYARMATI–HEGEDŰS–GÁVAY 2022; GYARMATI 2023.



9. ábra: A Fusion 360 programban létrehozott lámpabúra 3D-modelljének felül- és alulnézete
Forrás: a szerzőszerkesztése

A lámpatestet PLA-ból nyomtattuk, a méretek pontosítása és javítása után a végleges méretben. A nyomtatás során PVA (vízzel oldható) támaszanyagot alkalmaztunk (a belső üreges részek megtámasztására), amely a nyomtatás után könnyen és roncsolásmentesen eltávolítható, ezáltal a kinyomtatott alkatrész nem sérül meg (10. ábra).



10. ábra: Az eredeti lámpabúra és annak nyomtatott változatai
Forrás: a szerzőszerkesztése

Utolsó lépés volt a test piros PLA-ból nyomtatása, ahol a test belső részét vékonyítottuk annak érdekében, hogy a fény kellő mértékben át tudjon haladni rajta, valamint a bal oldalon kivágtunk kettő különböző átmérőjű kört, ahol az anyag vastagsága is különböző mértékű volt. A nyomtatás után beszereltük a búrát a méretek ellenőrzése végett, majd megvizsgáltuk azt is, hogy milyen mértékben világítja át a nyomtatott testet a gépjármű lámpatestjében elhelyezett izzó (11. ábra).



11. ábra: Felszerelt lámpabúra világítás nélkül, illetve átvilágítva
Forrás: a szerzőszerkesztése

Összefoglalás

A cikk összefoglalta és bemutatta a litofánok fejlődéstörténetét, a különböző korokban alkalmazásának megvalósulásait, a 3D-nyomtatással megvalósított litofán képek elkészítési módját. Kísérleti nyomtatások által, ahol a kép felbontását, a kép maximális vastagságát és a nyomtatás különböző sebességeit változtattuk, meghatároztuk az optimális beállítási jellemzőket. A cikk megvizsgálta a litofán technika alkalmazását különböző gépjárműtechnikai alkatrészek előállítására. A litofán technika 3D-nyomtatással történő alkalmazásával előállítottuk a Mercedes-Benz Unimog 1300 típusú terepjáró tehergépkocsi egyes műszerfal-visszajelző szimbólumait, valamint hátsó lámpaburáját. A nyomtatott elemeket átvilágítási próbával ellenőriztük és validáltuk.

Felhasznált irodalom

- 3D moments [é. n.]: *Litofán története*. Online: <https://3dmoments.eu/litofan-tortenete/>
- CARNEY, Margaret (2007): Lithophanes and Asia: Translucent Translations. *Ceramics Monthly*, 55(8). Online: <https://davefinneganceramics.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/11/lithophanes-and-asia.pdf>
- GÁL Bence – NÉMETH András (2019): Additív gyártástechnológiák katonai alkalmazásának vizsgálata, különös tekintettel a katonai elektronika területére. *Hadmérnök*, 14(1), 231–249. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2019.1.19>
- GÁVAY György Viktor (2023): Logisztikai járművek alkatrészpótlása 3D nyomtatási technológia alkalmazásával. *Katonai Logisztika*, 31(3–4), 208–232. Online: <https://doi.org/10.30583/2023-3-4-208>
- Gobertpartners.com (2022): *How Are Lithophanes Made?* Online: <https://gobertpartners.com/how-are-lithophanes-made>
- GYARMATI József (2023): Lánctalpas jármű kormányzása és ennek 3D modellezése. *Műszaki Katonai Közlöny*, 33(3), 51–61. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2023.3.5>
- GYARMATI József – HEGEDŰS Ernő – GÁVAY György (2022): Automata sebességváltóban alkalmazott kapcsolt bolygóművek – Wilson-váltó: Harckocsi-sebességváltó modell kialakítása 3D nyomtatással oktatási célból. *Műszaki Katonai Közlöny*, 32(3), 113–126. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2022.3.7>
- HEGEDŰS Ernő (2023): Szálerősítéses anyagok 3D-s nyomtatásának hadiipari alkalmazási lehetőségei I. rész. *Haditechnika*, 57(4), 62–66. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.4.12>
- MILBURN, Sandra J. (2024): Do You Know What a Lithophane Is? Find out at a workshop at the Hutchinson library. *The Hutchinson News*. Online: <https://eu.hutchnews.com/story/news/2022/05/25/lithophane-workshop-librarys-makerspace-illuminates-photos-hutchinson-public-kansas/9713073002/>
- NILSSON, Jan-Erik (2023): *Anhua Secret or Hidden decoration on Chinese Porcelain*. Online: www.gotheborg.com/glossary/anhua.shtml
- Marchant (2024): *Blanc de Chine*. Online: www.marchantasianart.com/shop/porcelain-works-of-art/blanc-de-chine-porcelain/
- OSSER, Stephanie (2022): A New Path with Lithophanes. *Ceramics Monthly*, 2022. február. Online: <https://ceramicartsnetwork.org/ceramics-monthly/ceramics-monthly-article/a-new-path-with-lithophanes#>

- ROMULE, Ilona (2024): *Lithophane with Ilona Romule*. Online: www.icshu.org/lithophane.html
- VÉGVÁRI Zsolt (2023): A 3D nyomtatás felhasználási lehetőségei a műveleti logisztikában. *Katonai Logisztika*, 33(1–2), 177–198. Online: <https://doi.org/10.30583/2023-1-2-177>
- ZENTAY Péter – HEGEDŰS Ernő – VÉGVÁRI Zsolt (2022): A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei. 1. rész. *Haditechnika*, 56(6), 56–63. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.56.6.09>

Jasztrab Péter János¹ 

Az elsötétítés biztonsági aspektusai Magyarországon

2. rész: Világítástechnikai követelmények

Blackout in Hungary from the Perspective of Military, Security and Safety

Lighting Requirements, Part 2.

Európában a 20. század első felében háborús légkör és forrongó politikai helyzet uralkodott, ami hatással volt az élet minden területére. A korszakra jellemző volt a világítás tökéletesedése, előtérbe kerültek a fény pozitív hatásai és annak biztonsági kérdései. A védekezéséppen alkalmazott elsötétítés és a munkavégzéshez szükséges fény összeegyeztetése nemcsak világítástechnikai, hanem hadtudományi, hadmérnöki kihívást is jelentett. Kialakult az ágazat intézményi és műszaki keretrendszere, aminek köszönhetően itthon is meghonosodott a világítástechnika tudománya. Elismerően írt a magyar szakemberekről a nemzetközi sajtó. A „totális háborúval” járó elsötétítés azonban merőben új helyzetet teremtett. A légvédelem szolgálatába állították a világítástechnikát, és ezzel új fejezet nyílt a világítás történetében. A cikksorozatnak ebben a részében a módszereket és a munkahelyi előírásokat, eljárásokat járom körbe, közben utalást teszek a hazai világítástechnika fejlettségére, viszontagságaira, és arra, hogyan adaptálták mindezt az új követelményekhez, amivel az elsötétítés idehaza külön tudományággá válhatott.

Kulcsszavak: elsötétítés, fény, lámpa, munkavédelem, világítástechnika, megvilágítás, második világháború, légoltalom, polgári légvédelem, Világítástechnikai Állomás, Országos Világítástechnikai Bizottság

¹ EHS, okl. villamos- és gépészmérnök, munkavédelmi és egészségügyi szakértő, emelőgép-szakértő, tűzvédelmi szakvizsgáztató, Óbudai Egyetem, e-mail: jasztrabp@yahoo.com

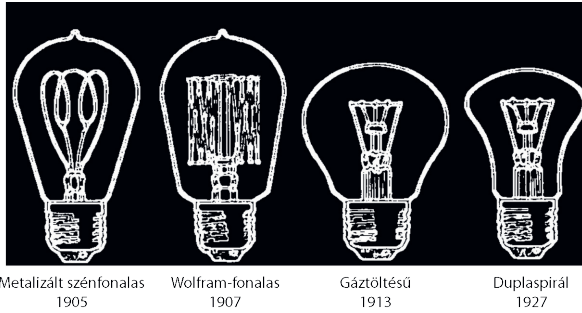
Europe in the first half of the 20th century was characterised by a seething political situation and an atmosphere of war that affected every aspect of life. The period was marked by advances in lighting technology that brought significant benefits in terms of the positive effects of lighting, and its safety issues came to the fore. The balance between blackout and proper lighting for work was a major challenge not only for lighting technology, but also for military science and military engineering. An institutional and technical framework for the sector was established, which facilitated the development of the science of lighting technology in this country. The international press has lauded Hungarian lighting experts for their contributions to the field. However, the blackout that accompanied the advent of "total war" necessitated a radical shift in approach. Lighting technology was repurposed to serve the needs of air defence and a new chapter was born in the history of lighting. This article of the series examines the methods, workplace regulations and procedures used in this endeavour, as well as the development and challenges of lighting technology in Hungary and its adaptation to the demands of the new circumstances that led to the emergence of blackout as a separate discipline in the country.

Keywords: *blackout, light, lamp, occupational safety, illumination, world war, air defence, Lighting Engineering Station, National Lighting Commission*

Bevezetés

A totális háborúban a légerő számára a termelés, így az üzemek és az ipartelepek is potenciális célpontokká váltak. Ennek ellenére sorra születtek idehaza a kornak megfelelő modern világítási elvek, illetve a termelékenységét növelő műszaki alkalmazások. A 20-as és a 30-as évek gazdaság nehézségei között is számos törekvés volt az akkori világitásról alkotott gondolkodás megváltoztatására. El akarták érni, hogy a gazdasági szereplők és a döntéshozók ne csak a munkavégzéshez nélkülözhetetlen fény biztosításában legyenek érdekeltek. Mindezt számos technikai újdonság segítette, mint a villamos motor, a transzformátor és az izzó tökéletesedése vagy a villamos mérőóra és a luxmérők megjelenése. Megvalósult a termelés, az elszámolás és a kereskedés az árammal. A világítástechnika megállíthatatlannak tűnő vívmányai és sikerei ellenére, az elsötétítés új helyzetet teremtett világszerte, amihez észszerű és racionális mérnöki megoldásokra is szükség volt² (1. ábra).

² JASZTRAB 2024: 31.



1. ábra: Hőszugárzó fényforrások a 20. század elején
 Forrás: a szerző szerkesztése

Forradalom a világítás területén

Már a 19. század végén elkezdődött az elektromos áram közvilágítás-célú felhasználása.³ A Ganz-féle váltóáramú ívlámpákat szerelték fel elsőként. Ezeket a millennium évében épületek és szökőkút (mint a *fontaine lumineuse*) díszvilágítására is használták, de az elektromos világítás az első világháború után kezdett Budapesten a lakosság körében elterjedni.⁴ Az ívfény nem túl előnyös tulajdonságaihoz képest az izzók számtalan pozitívummal rendelkeztek. Ennek köszönhetően megjelenésük nagy népszerűségnek örvendett. 1925-től az útközepes világítás egészítette ki a kandeláberek térvilágításait.⁵ A petróleum használata a közvilágításban az 1930-as évekre megszűnt.⁶ A fontosabb utakat a gáz- és a villamos lámpák uralták.⁷ A rohamos fejlődés a fényáram kihasználásában is utolérhető volt.⁸ Utcavilágításra 1928-ban 8,4 millió mg gázt és 7,3 millió kWh villamos energiát használtak fel.⁹

Több izzógyár is létesült, például az Egyesült Izzólámpa és Villamossági Rt.¹⁰ (két leányvállalata az Orion Izzó Lámpagyár és a Standard Izzó), a Magyar Fém- és Lámpaárugyár Rt. és a Dunavölgyi Rt., a Kremeneczky János által alapított Magyar Wolframlámpa Gyár (később

³ Az ívlámpák használatát az 1880-as években kezdték Európában, és Egger B. Bernát budapesti vállalkozása negyedszázadon át gyártott szénszálás izzókat a fémszálás típusok megjelenéséig. Budapest első díszvilágítása az Iparcsarnok előtt álló, Balaton legendáját ábrázoló szökőkút volt, amely az 1896-os millenniumi kiállításra készült. A Budapesti Általános Villamossági Rt. és Magyar Villamossági Rt. termelő és elosztó berendezéseit kiépítve 1893-ban kezdte meg működését. Edison izzólámpája felfedezése után hat évvel a budapesti országos kiállításon izzókat használtak, és az első világháborút követően közel 15 év leforgása alatt gyorsan elterjedt, a fogyasztók száma megduplázódott a fővárosban.

⁴ A közcélú áramszolgáltatás 1893-ban kezdődött meg. Fejlődését segítette, hogy az 1920-as évektől olcsóbb volt a villany-, mint a gázvilágítás.

⁵ Albert Thomas nyilatkozata magyarországi missziójáról és tapasztalatairól 1927: 6.

⁶ URBAN-VISZKET-BAZSALYA 2012: 29.

⁷ FORBÁTH 1937: 7.

⁸ LAMBDA 1930: 220.

⁹ Fokozott fénykihasználás 1938: 12–13.

¹⁰ Az izzógyárak kartellbe tömörültek 1925-ben (Phoebus kartell), ami miatt az aradi vagy 1925-ben a Just-gyár nem tudott rentábilis maradni. Az Egyesült Izzólámpa és Villamossági Rt. az 1930-as években (a mögötte álló csoportnak köszönhetően) jelentős nemzetközi tényezővé vált.

Orion),¹¹ a Magyar Siemens-Reiniger-Veifa, a Vitalux lámpagyártó, de még a Zwack gyár is tervezte, hogy lámpát gyárt.¹² A fénycsövek pedig a kirakatvilágítás és a díszvilágítások elterjedése után a beltéri világítások területén is elérhetővé váltak. A háborút megelőzően a duplaspirállámpák¹³ az elsötétítési rendelkezések ellenére is népszerűek voltak. A termelést érintő takarékoság¹⁴ jegyében gőzlámpákat (higanygőz- és nátriumgőzlámpákat), valamint fénycsöveket¹⁵ és kevert fényt adó lámpákat használtak.

Az 1930-as évek végére az elektromos világítás árában idehaza komoly csökkenés következett be.¹⁶ Az izzók árát rendeletben maximalizálták,¹⁷ illetve egyes típusoknál¹⁸ a kiégett égők visszavétele is csábította a vevőket.¹⁹ Ösztönzésül a gyártók a kereskedőknek zsebluxmérőket adtak.²⁰ Az új világítás a második világháború előtt már elterjedt volt.

Budapest az Eucharisztikus Kongresszusra díszvilágításba²¹ öltözött, illetve fényárban fürdött egészen 1939-ig. A fővárosban számtalan nagy projekt indult. A háború előtti utolsó nagy volumenű vállalkozás a Vajdahunyad vára volt, amelyet 1939-ben helyeztek üzembe.²²

Az elektromos lámpa a vendéglőktől az egészségügyig nagy népszerűségnek örvendett. A fővárosban neonfények csalogatták a vevőket és a Világítástechnikai Állomás bevonásával²³ kirakatvilágítási versenyt tartottak Budapesten.²⁴ 1941-ig az épületek dekoratív világításai ékes panorámát nyújtottak a nagyközönség számára²⁵ (2. ábra).



2. ábra: A Halászbástya látképe 1938-ban

Forrás: a szerző gyűjteménye

¹¹ Díszvilágítás terén Orion névvel fénycsövek.

¹² Új magyar iparcikkek 1934: 19.

¹³ BRÓDY 1937: 187, 190–191.

¹⁴ WILLHEIM 1943.

¹⁵ Rég. luminofor cső.

¹⁶ PILLITZ 1936: 4.

¹⁷ 86.800/1942. KM. és 40.500 KM rendeletei értelmében (Tungram, Orion és Osram).

¹⁸ Kriptontöltésű duplaspirálizzó (az 1930-as években indult meg a tömegtermelése), a második világháború végéig Ajkán gyártották őket.

¹⁹ FORBÁTH 1937.

²⁰ FORBÁTH 1937.

²¹ HERCZEG 1943: 25.

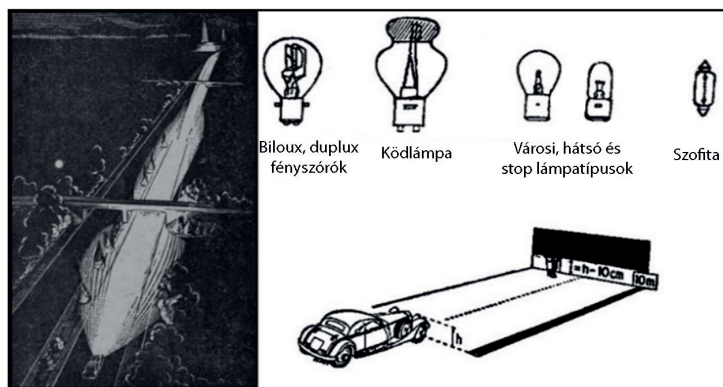
²² HORVÁTH 1989: 91.

²³ Az első budapesti kirakatvilágítási verseny eredménye 1930: 64. és II. Budapesti Kirakatvilágítási Verseny 1938: 12.

²⁴ Kétszer is, 1930-ban és 1938-ban.

²⁵ 1940. december 8-ig, de később a fővárosban a nemzeti ünnep alatt enyhítettek a korlátozásokon.

A közforgalomban a járműveket idehaza kötelezően fényforrásokkal kellett ellátni. Azonban ne feledjük, hogy az útvilágítás (közvilágítás) nem volt egyforma mindenhol, a városokban és az autoutakon erősen érezhető volt a különbség, amihez a jármű világítását is hozzáigazították.²⁶ Az elektromos világítás a közvilágításban fokozatosan és a közlekedési eszközöknél is kiszorította a hagyományost. A gépjárművekben külföldi (például Bosch) világítórendszerek működtek (3. ábra). A korábban sárvédőkre és rendszámablára vagy mozdonyok elejére szerelt változatok főképpen a tájékoztatást szolgálták, de később az utasok a komfort növelése érdekében már világítás mellett élvezhették az esti utazást.²⁷ Az elektromos hálózat terjedésével 1933-ban megjelent Budapesten a sín nélküli vonatokocsi, a trolibusz is.²⁸ A gázlámpa olcsósága ellenére az elektromos világítás terjedése feltartóztathatatlan volt a közvilágításban és a magánéletben is.²⁹



3. ábra: Gépjárművek világítótestei

Forrás: a szerző szerkesztése az *Autó Motor* és *Magyar Auto Touring* 1936. évi kiadványai alapján

A Világítástechnikai Állomás és az Országos Világítástechnikai Bizottság

A Világítástechnikai Állomás³⁰ 1927-ben a Magyar Elektromos (Villamos) Művek Országos Szövetség Technológiai és Anyagvizsgáló Intézetének keretén belül nyílt meg, és többek között a világítás, illetve a munkateljesítmény egészségügyi és szociológiai vonatkozásaival, a színelmélet kérdéseivel foglalkozott. Az állomás célja a hazai világítási kultúra fejlesztése volt, de a vizsgálatait, valamint a propagandatevékenysége kiterjedt a munkateljesítmény összefüggéseinek felmérésére és a szakmai álláspontok terjesztésére is. Munkássága felölelte a mesterséges világítás egész területét.³¹ Számtalan előadást, tanfolyamot és kiállítást szerve-

²⁶ Európában az országutak nem voltak világítva, ezért kétféle világítást adó szerkezet volt a járműveken.

²⁷ JASZTRAB–ISTÓK 2023: 19.

²⁸ DÚL 1943: 22.

²⁹ SIPOS 1992 és Pongrácz igazgató nyilatkozata... 1929: 4.

³⁰ Zípernowsky Ferenc igazgatósága alatt és szorgalmazására.

³¹ ZÍPERNOWSKY 1935: 28.

zett a világítástechnikai berendezések, a helyes és a helytelen világítási módok bemutatására³² (4. ábra).

Az Országos Világítástechnikai Bizottság (OVV) szorosan együttműködött a Világítástechnikai Állomással. Feladata volt a világítástechnika elméleti és gyakorlati továbbfejlesztése, illetve a hazai világítástechnikai iparnak és szakérdekeltségnek tudományos munkával való támogatása. Valamint a világítással kapcsolatos szabályzatok és irányelvek kidolgozása, kutatómunka előmozdítása, tanulmányok kiadása és ezáltal a világítástechnikai tudomány és gyakorlat meghonosítása, a szoros együttműködés előmozdítása. Továbbá kapcsolatok teremtése és a haza képviselője a külföldi világítástechnikai intézményekkel.³³ Az OVB bekapcsolódott a nemzetközi életbe. A Nemzetközi Világítástechnikai Bizottság (Commission Internationale de l'Éclairage, CIE) életében is részt vett, amelynek Magyarország³⁴ 1931-ben vált tagjává.³⁵



4. ábra: Osram Bilux- (b) és Tungshram Krypton- (j) propaganda a jobb világításért
Forrás: a szerző gyűjteménye

A „jó világítás”

Az elektromos lámpák megjelenése új környezetet teremtett az iparban. Felismerték, hogy a gyors, illetve a „tökéletes és gazdaságos munka végzéséhez nemcsak korszerű szerszámgépekre vagy jó kéziszerszámokra van szükség, hanem mindezek mellett még jó világításra is”.³⁶

Megfigyelték, hogy a rossz világítás teljes egészében lerontja azt a kedvező hatást, amelyet a gépek, a berendezés felújításával érhetnek el. A rossz világítás nemcsak a munkás szemét tette tönkre, hanem a munkavégzés okozta fáradtságot is észrevehetően fokozta. A világításnak mindenhol alkalmazkodnia kellett volna a helyiséghez és az ott folytatott tevékenységhez, valamint a berendezési tárgyak helyéhez. A világítástechnikai szakemberek hangsúlyozták, hogy bizonyos pontok megvilágítása céljából külön lámpák használandók, amelyek a gépfelügyeletet és a megkülönböztetést is segítik.³⁷ Nem volt elhanyagolható az a társadalmi igény sem, ami a jobb munkakörnyezetre való törekvésben és abban a felismerésben gyökerezett,

³² PETRÓ 1927: 182.

³³ 83.702/1929/XVII. KM rendelet.

³⁴ Az Osztrák–Magyar Monarchia idején már tagja volt.

³⁵ Az Országos Világítástechnikai Bizottság teljes ülése 1931: 76.

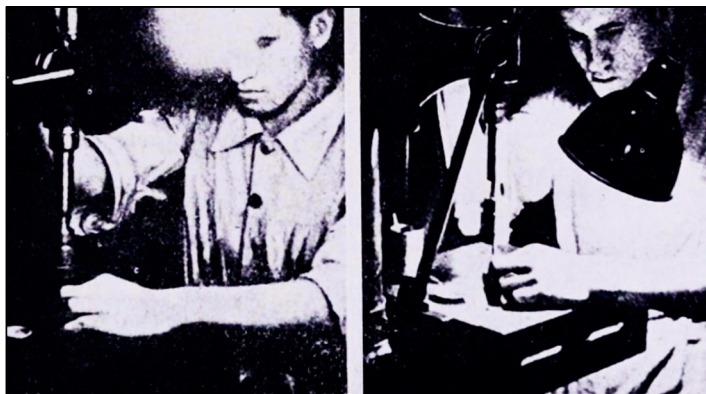
³⁶ WILLICHEIM 1935: 173.

³⁷ Racionális üzemszervezés 1929: 8.

hogy a rossz fényviszonyok kialakulása balesetveszélyes. A „jobb világítás – jobb látás!”³⁸ vagy a „Kíméld a szemedet jobb világítással!” mozgalom igyekezett ezt propagálni is. Elvárták, hogy annál a munkavégzésnél, ahol színeket kell megkülönböztetni, a használt fényforrás segítse és ne rontsa le a teljesítményt. A jó világítást három pontban foglalták össze:

- kellő megvilágítási erősség;
- káprázatmentesség;
- helyes (egyenletes és erős) fény- és árnyékhatás,³⁹ illetve annak fő fényösszetétele.⁴⁰

Hamar felfigyeltek a megvilágításnak a termelésre gyakorolt hatására, illetve a kortól,⁴¹ a feladattól és a környezettől való függésére és a fényforrás (izzó) „fáradására”. Jól ismert volt az a hatás, hogy a „meztelen”, azaz armatúra nélküli villanykörte rendkívül rontja a szemet, és a káprázató világítás kettős látást, fáradtságot, fejfájást okoz, és ennek okán csökkenti a munkateljesítményt. Javaslataik alapján a munkahelyi világításnak ernyőzöttnnek kellett lennie. A sötét falak, bútorok elnyelik a fényt és óriási fényvesztéseket okoznak. Felismerték, hogy ahhoz, hogy valamely helyiségben kellemes legyen a fény és ne ártson a szemnek, helyi világítás szükséges (5. ábra és 1. táblázat).



5. ábra: A káprázást okozó megvilágítás és a jó megvilágítás
Forrás: GORTVAY 1944: 213.

Megállapították, hogy a tájékozódáshoz, áttekintéshez minimum 20 lux, de átlagosan az egyenletesség miatt 40–50 lux az elég. Azonban az úgynevezett „minősített szemmunkához”, mint írás, olvasás, rajz, kézimunka stb. 250–350 lux helyi világítás szükséges.⁴²

³⁸ DEMBITZ 1936: 13–14.

³⁹ HERCZEG 1943: 24–25.

⁴⁰ ÉRDI 1936: 162–163.

⁴¹ HERCZEG 1943: 25.

⁴² HERCZEG 1943: 25.

1. táblázat: Elvárt megvilágítás maximuma és minimuma 40–60%-os fényvisszaverődés mellett

Munkafajta	Tiszta általános megvilágítás			Általános megvilágítás + munkahely-megvilágítás		
	Közepes megvilágítási érték		A legelőnyte- lenebb meg- világítási érték	Általános megvilágítás		Helyi megvilágítás
	Legkisebb érték	Általános érték	Legkisebb érték	Közepes meg- világítási erősség	Legelőnyte- lenebb helymeg- világítási erősség	Munkahely- megvilágítási érték
<i>Durva</i>	20	40	10	20	10	50–100
<i>Középfinom</i>	40	80	20	30	15	100–300
<i>Finom</i>	75	150	50	40	20	300–1000
<i>Nagyon finom</i>	159	100	100	50	30	1000–5000

Forrás: WILLHEIM 1943: 21.

Az elsötétítés világítástechnikai módja, megvalósítása

A világítástechnikai szakemberek külföldön⁴³ és idehaza is egyaránt az elsötétítés eltérő követelményeihez igazodó megoldásokat keresték. Minden területen egyedi módszert dolgoztak ki. Sokszor azonban erőforrás hiányában a lehetőségek szabták a kivitelezés módját és az alkalmazandó technikát. Új terület volt kialakulóban, amelyet idehaza „befelé világítunk, kifelé elsötétítünk” jelmonddal jellemezhetünk, és a légoptalmi elsötétítés a világítástechnika teljesen „önálló” fejezetének tekinthető.⁴⁴

Két fő csoportot különböztettek meg, a mechanikai eszközökkel és a fénytechnikai úton történő elsötétítést. A szabályzás elsősorban a fényforrásokra és a felületekre koncentrált. Az eszközölt változtatások a fényforrás teljesítményét vagy a sugárzó részét, annak kialakítását, illetve az armatúrákat érintették. Volt, ahol a fénysugár irányát változtatták meg, volt, ahol szűrőkkel érték el a kívánt hatást. Sok helyen szükség születte, improvizált megoldások terjedtek el, de ez függött a világítás típusától és kialakításától is. A használt módszert a teljes és részleges elsötétítés elvárásai, illetve a rendelkezésre álló technológia szintén differenciálták. Részletes összehasonlításra vagy a tényleges megvalósítás bemutatására a cikk keretén belül nincs mód, ebben a fejezetben az előző részben bemutatott követelményeket állítom szembe az elsötétítés előírásaival.

Az elsötétítés elmélete

Köztudott, hogy a szem, tulajdonságát és a képességét tekintve, eltérő módon működik sötétben, mint világosban. A világítások tervezésénél ezért új fogalmakat vezettek be: „sötétségi megvilágítás erősség” és a sötétre adaptált szemre alkalmazható fénysűrűségi egység. A két új mértékegysége a skot és a nox volt, amelyek a „békevilágítás” megfelelő mennyiségeiből levezethetők.⁴⁵ Az elsötétítéssel kapcsolatos felületi sűrűség:⁴⁶

⁴³ Németországban 1939. december és 1940. március között munkavédelmi konferenciákat tartottak.

⁴⁴ GREGOR 1943: 6.

⁴⁵ GREGOR 1943: 6.

⁴⁶ PILLITZ 1941: 26–27.

$$\bar{B} = \frac{1}{M} \int S_{\lambda} V_{\lambda} \cdot d\lambda$$

ahol S_{λ} = a fénysugárzás sűrűsége a $(l + dl)$ rezgési sávban,

$d\lambda$ = keskeny hullámszámsáv differenciálja,

\bar{M} = állandó értéke $0,2 \times 10^{-10}$,

$S_{\lambda} d\lambda$ = sugárűrűség W/cm^2 -ben l és $l + dl$ hullámhosszúságok között, egységnyi térszögben mérve,

V_{λ} = pálcika látására beállított szem érzékenysége l hullámhossznál.

Sötétségi megvilágítás erőssége:

$$\bar{E} = \frac{\bar{B}}{\rho}$$

Ahol \bar{E} a sötétségi megvilágítási egyenérték (noxban kell megadni),

\bar{B} = felületi fénysűrűség (skotban kell érteni),

Q = visszaverődési tényező szürke felületek esetén.

A világítástechnikai szakemberek idehaza – a hatóságokkal együttműködve – a rendelkezésre álló irodalmak alapján az elsötétítés követelményeit számos területre kidolgozták.

Irodák, lakások, középületek

Az irodák és a lakoházak elsötétítése hasonló volt, de különbséget kellett tenni, ahogy az üzemeknél is, aszerint, hogy milyen csoportba voltak besorolva. Külön kellett kezelni a közületeket (középületeket). Az ilyen épületekhez tervekkel kellett készíteni, míg az egyéb épületek, házcsoportok elsötétítését helyi szervezet vagy fényforrással rendelkező személy hajtotta végre.⁴⁷ A be nem tartásért a végrehajtásért felelőst büntették.⁴⁸

A követelményeket két részre, külső és belső világításra osztották. Az irodákon és lakásokon a külső térvilágítás kérdése megoldható volt az egyes erőközpontokban végrehajtandó feszültségcsökkentéssel, kék búrák vagy kék égők, esetleg üveglapok vagy különféle, fémből készült, esetleg kartonból improvizált fénynyelő armatúrák alkalmazásával. A lépcsőházak ablakait fényzáróan kellett árnyékolni. Az üzletek, szállodák és éttermek azonosítására szolgáló világító tájékoztató táblák csak a vállalkozás típusára és nevére vonatkozó információkat tartalmazhattak. Színházak és mozik esetében az előadás címe is feltüntethető volt, de az elsötétítés idejére az előadást lehetőleg be kellett fejezni. A belső, közös udvar világításán is végre kellett hajtani az elsötétítést. Az esetleges véletlen felgyújtás veszélye miatt az égőket vagy a hozzájuk tartozó biztosítókat ki kellett csavarni. Ott, ahol a békebeli világításnál még nem mélysugárzó ernyőket használtak, az ernyők testét sokszor provizórikus megoldásokkal (bádog-, kartonhengerekkel) alakították át. A gömb alakú üvegbúrával ellátott lámpákra

⁴⁷ 88.002/eln. lgv.-1939. H. M. számú rendelet 3. § (4).

⁴⁸ KATHONA 1942: 2.

gyakran át nem tetsző posztóanyagból készült zacskót húztak, amely felül zárt, míg alul behúzott gumiszalag segítségével szabályozhatták a kilépő fénykéve nagyságát.

Gömblámpáknál úgynevezett karton prespánhengereket alkalmaztak. Ezeket hengeralakban kellett az izzó körül elhelyezni, és arra a gömböt felszerelni.

Falikaroknál arra is ügyeltek, hogy a fény ne verődjön a függőleges falakra, mert ez messziről feltűnt. A teljes elsötétítés sikeres biztosítására az összes külső fényforrást egy helyről, egy mozdulattal kapcsolhatóvá tették, kivéve az úgynevezett irányfényeket, amelyeknek különös fontosságuk miatt a teljes elsötétítés alatt is égniük kellett.⁴⁹

A kifelé teljesen biztos módon elsötétített helyiségben lehettek csak megmaradó fényforrások. Az irányfények 50 méterre már nem lehettek láthatók az épülettől.⁵⁰

Az óvóhelyeken, ahol munkavégzés folyt, az általános és helyi megvilágítás belső helyiségek értékeinek kellett megfelelni, amit luxméréssel kellett ellenőrizni, betartani (1. és 2. táblázat, 6. ábra).⁵¹



6. ábra: Belülről és kívülről megvilágított jelzések épületeken

Forrás: a szerző szerkesztése LÉGO. UT. III.-1. 1941 és. LÉGO. UT. III.-1:1939 alapján

Üzemek, gyárak

Az ipari létesítmények tekintetében, azok szerteágazó tevékenységi köre miatt a legfontosabb világítástechnikai követelményeket a termelés és hatékonyság figyelembevételével volt szükséges betartani, mivel az épületek belső világítása sem a csökkentett világítás, sem a teljes elsötétítés alatt korlátozás alá nem esett. A lámpákat azonban csak olyan helyiségekben lehetett felgyújtani, amelyeknek ablakai redőnyökkel vagy át nem tetsző függönyökkel, esetleg

⁴⁹ HÁMORY 1942: 2.

⁵⁰ LÉGO. ÚT-2 Épületek elsötétítése (Elsöt. 2) 81900/eln. lgv.

⁵¹ PILLITZ 1941: 107.

sötétkék vagy fekete papírral biztosan el voltak sötétítve. A fény sem az ablakok, sem az ajtók esetleges kinyitásakor nem szűrődhetett ki. Ezért az ajtókra fénynyelő zsilipet kellett szerelni. Még számos kérdés okozott fejtörést, amelyek tárgyalását a cikk terjedelmi korlátai nem teszik lehetővé, de általánosságban elmondható, hogy az esti tevékenységhez az ablakfelületeket sötét és tompa színű festékkel kellett a légvédelmi készültség elrendelésére bevonni, és a nappali üzemet is villanyvilágítás mellett lehetett továbbvinni. A térvilágítási lámpákból, amelyeket a csökkentett világítási terv szerint a világításból kikapcsoltak, az esetleges véletlen felgyújtás veszélye miatt ki kellett csavarni az égőket vagy a hozzájuk tartozó biztosítékokat. Minden térvilágítási lámpa csak akkor volt meggyújtható, ha arra a végrehajtandó munka szempontjából okvetlenül szükség volt. A gépek regisztráló műszereinek leolvasására burkolt fényű villanyzseblámpákat kellett használni. Tehát a légoltalom alatt is gondoskodni kellett a kellő megvilágítási erősségről, káprázásmentességről, jó árnyékhatásról, térbeli és időbeli egyenletességről, színvisszaadásról és a vibráló fény kerüléséről.⁵² Az általános világítás közepszerű munkánál nem lehetett 20 lux alatt⁵³ (2. táblázat).

2. táblázat: Általános megvilágításerősségek elsötétített belső helyiségek részére

Munkafajta	Általános megvilágítás külön megvilágítás nélkül		
	Közepes megvilágítás erőssége		Lux a leggyengébben világított helyen
	Legkisebb lux	Javasolt lux	
<i>Durva</i>	20	40	10
<i>Középszerű</i>	40	80	20
<i>Finom</i>	75	150	50
<i>Igen finom</i>	150	300	100

Forrás: PILLITZ 1941: 105.

A szakemberek német tapasztalatok alapján tudták, hogy a termék általános világításának túlságos csökkentése nagy fénykülönbséget eredményez, ami fejfájást okoz. Ezért inkább az ablakok lefüggönyözését javasolták, főleg ott, ahol por volt, és a szellőzést meg kellett hagyni.⁵⁴

Kereskedelmi helyiségek és vendéglátóhelyek

A kereskedelmi helyiségekről már részben szó esett. A lakóházakban levő kisebb üzlethelyiségek, illetve üzemek a harmadik csoportba, de a nagyvendéglők, a nagyáruházak, a színházak és más nagyobb intézmények a második légoltalmi csoportba tartoztak, és légvédelmi tervüket külön-külön kötelesek voltak elkészíteni.

Kisebb üzlethelyiségek, mint „kereskedelemnek le kell mondania minden fényreklámról, így a legkisebb fényt sugárzó hirdetésről is. Csak az irányfények követelményeit teljesítő feliratok maradhattak, de kirakatvilágítás nem lehetett. Gondosan ügyelni kell arra, hogy

⁵² PILLITZ 1941: 109.

⁵³ PILLITZ 1941: 105.

⁵⁴ Új módszer erőközpontok és hasonló üzemek elsötétítésére 1938: 258.

sem a kirakatból, sem az üzletajtóból, sem az üzletajtó nyitása alkalmával ne jusson fény az utcára. Az ajtónak ilyenkor teljesen fényelzárónak kell lennie. Ez a legjobban olyasféle kettős függönnyel oldható meg, mint amilyent a kávéházak forgóajtóinál használnak. Az üzlet bejáratát ilyenkor csupán úgynevezett irányfénylámpával szabad jelezni”, illetve úgynevezett világító feliratot lehetett csak alkalmazni.⁵⁵

Vendéglátóhelyek és munkaterületei

A belső irányfények használatát a vendéglátó üzemekben – mint kávéház, étterem, vendéglő, szórakozóhelyek stb. – csak bent engedélyezték. Az elsötétítés ideje alatt nyári kerthelyiségeket csak a külső rendszabályok betartása mellett lehetett használni. Itt, ahogy a teraszokon is, az irányfénylámpák fölé fényátláthatatlan tetőt kellett kifeszíteni úgy, hogy a szél ne fújhassa el. A csökkentett világítás elrendelésétől annak megszüntetéséig általában minden nemű szabadba sugárzó fényt meg kellett szüntetni, akár köz-, akár magánterületre világítottak.⁵⁶ Könnyítést jelentett, hogy a belső üzemi helyiségekben is engedélyezett volt az irányfények használata, de kivételt képeztek a lakóegységek. A pincéket, padlásokat, raktárakat és a nappal legnagyobb részben zárva tartott, a vendéglátóipari egységhez tartozó részek ajtóit és ablakait nyitva lehetett tartani nagy melegben és a rossz levegő kiszellőztetésekor.⁵⁷ A vendéglátás belső tereinél is könnyítés lépett életbe ott, ahol egy fő a riadó megszólalásakor a saját munkája mellett fél percen belül el tudta végezni a lekapcsolást. A vendéglátóhelynek ehhez be kellett jelentenie a tervet egy másodpéldánnyal együtt, azt a hatóságnak tudomásul kellett vennie, ellenőrzéskor be kellett tudnia mutatni.

Kerthelyiségek

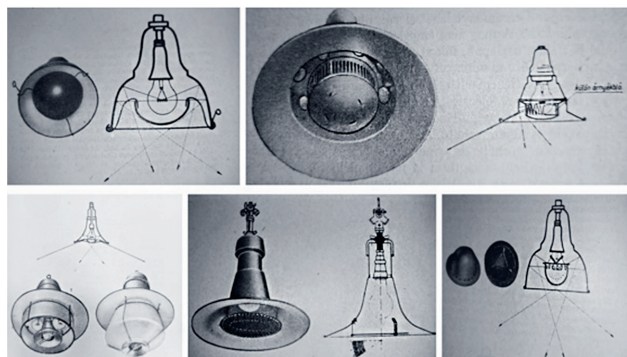
Közterület kivételével nem kellett lefedni az elektromos irányfényeket, ha azok 120 cm-nél és 15 W teljesítménynél nem voltak nagyobbak. A vendéglátóipari üzemek nyári helyiségeit a belső irányfényszerkezetekkel megvilágítani csak akkor volt szabad, ha az irányfénylámpák fölé „fényátláthatatlan” tetőt feszítettek ki, vagy az azok fényforrásául szolgáló izzólámpák 15 wattnál nem nagyobb teljesítményűek, és azok az asztalok felett legfeljebb 1,2 méter magasságban helyezkedtek el, valamint ha szél okozta kilengésüket megfelelő merevítő szerkezet (súly) akadályozta⁵⁸ (7. ábra).

⁵⁵ PÉCZELY 1939: 21.

⁵⁶ 88.002/el. lgv—1939. számú rendelete 5. §.

⁵⁷ 166.100/el. n. 35.-1943 HM 2. §.

⁵⁸ 166.100/el. n. 35.-1943 HM 2. §, 4. § és 5. §.



7. ábra: Átalakított fénycsökkentett lámpák szerkezeti szerelvényeikkel együtt

Forrás: a szerző összeállítása LÉGO. ÚT. III.-1 1941 alapján

Mezőgazdaság

A mezőgazdasági létesítményekről mint nagyobb üzemekről esett már szó. Érdekes ezzel kapcsolatban kiegészítésként a tanyavilágot megemlíteni, amire csak a háború második felében figyeltek oda fokozottabban.

Faluhelyen az este tűzjelenséggel járó tevékenység tilos volt, mint a tarló- vagy avarégetés és a pásztortűz, ahogy a kültéri kemencék használata is.⁵⁹ Előtérbe került a vagyonsvédelem, mivel a hazai gazdaságnak megterhelést jelentett területeinek felgyújtása.⁶⁰ Ezért a háború folyamán a bombázások gyakoribbá válásával igyekeztek erre nagyobb hangsúlyt fektetni. Mégis, az élet racionalitása azt eredményezte, hogy a Gyümölcsstermelők Országos Egyesületének a tavaszi fagykárak megelőzésére intézett indítványára a honvédelmi miniszter szabályozta az elsötétítés ideje alatt a gyümölcsösök fényjelenséggel járó fűtését és füstölését.⁶¹

Közlekedés

A közlekedésnél is számos fényforrást használtak. Elsősorban két csoport létezett, a megmaradó és a megszüntetendő fényforrások és felületek. Különbséget tettek a forgalmas és a gyenge közlekedés, illetve a járművek külső és belső világítása között. Az utóbbihoz tartoztak a járművekre szerelt és telepített, valamint a közlekedésbiztonság szempontjából alkalmazott jelzések. A járművek vezetését és felismerhetőségét biztosítani kellett. A tömegközlekedést tekintve a teljes elsötétítés és a csökkentett világítás különböző volt a városban és falun, ahogy a közúton, a kötött pályán is.⁶²

⁵⁹ LÉGO. ÚT. III.-2. 81.900/el. lgy. 1940: 16.

⁶⁰ VERESS 1980: 176.

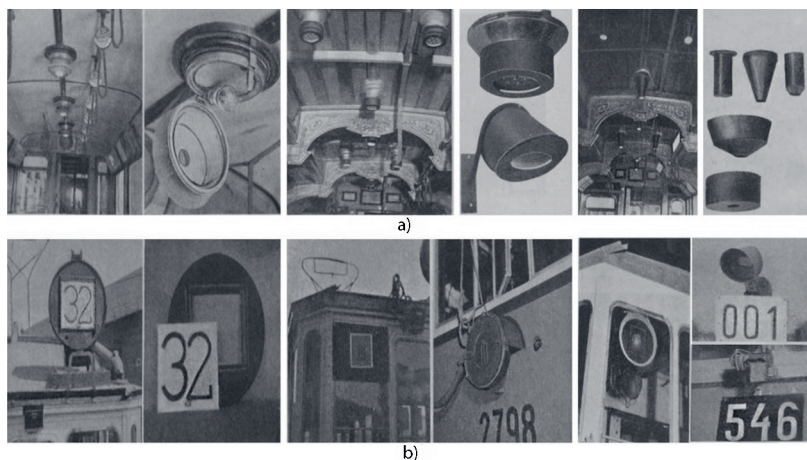
⁶¹ Elsötétítés alatt is lehet a gyümölcsösökben füstölni fagyveszély esetén 1943: 7.

⁶² JASZTRAB–ISTÓK 2021: 30–31.

A csökkentett világitásra a gyorsan haladó (például gépkocsi, motor) járműveknél teljes elsötétítésnél is szükség volt, de lassú típusoknál (kerékpár, lovas teherkocsi) irányfényszerű lámpák alkalmazása is megfelelt. Ennek a gyakorlatnak a megítélése sem volt mindig egységes (8. és 9. ábra).



8. ábra: Fekete papirossal fedik le az autóbuszok reflektorait
Forrás: *Ma éjjel sötétítsd el az ablakot és kapsold be a rádiót!* 1937

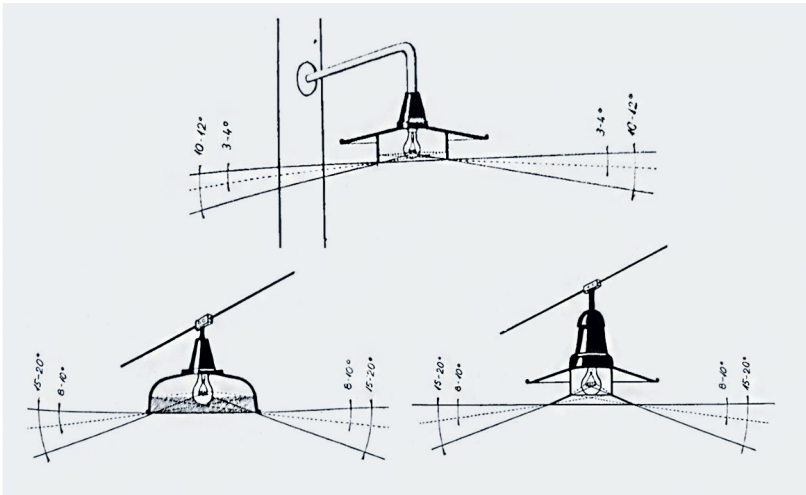


9. ábra: Villamosokon a) belső és b) külső lámpák elsötétítésére példák
Forrás: a szerző szerkesztése *LÉGO. UT. III.-3. 1940* alapján

Csökkentett közvilágítás

A lámpa fényforrásának fénye, illetve a felületről visszaverődő fénysugárzás, annak függőleges helyzete mellett már nem lehetett látható. Minden tükröződő felületet lehetőleg kerülni kellett, vagy meg kellett akadályozni a fényvisszaverődést. Szó esett már a térközi, azaz a lengő,

illetve a mereven rögzített közvilágításról. A vízszintestől való eltérést mindkettő esetében – legyen az ok a szél vagy rossz szerelés – korlátozni kellett. A szétszórt fénysugár a fixen rögzített lámpák esetében nem lehetett több mint 3–4%, illetve a fényforrásból (például izzóból) kilépő szög nem haladhatta meg a vízszinteshez képesti 10–12%-ot. A függő szerkezeteknél ez a két érték 8–10%, valamint 15–20% volt. Két kilométerről a legjobb fényviszonyok mellett sem volt szabad látszódnuk. Egyenletesnek és az árnyékhatásoktól mentesnek kellett lenniük. A fényfoltokat és az átmenet nélküli határokat kerültkék⁶³ (3. táblázat és 10–12. ábrák).



10. ábra: Ernyőzési szögek

Forrás: LÉG. UT. III.-1. 1941: 85.

Az ernyőzés tekintetében a szerkezet belső felületének színét, az árnyékhataást, a fényvisz-szaverő-képességét is figyelembe kellett venni. Az ernyőzési magasságot, illetve átmérőjét az alábbi képletből lehetett kiszámolni (lásd a 11. ábrán):

$$m_1 = \frac{aH}{2L}$$

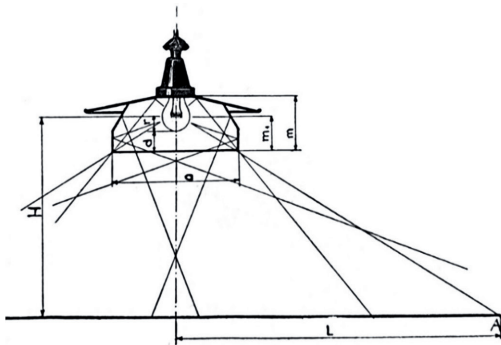
ahol m_1 : az ernyőzési magasság,

a: az ernyőzés szélességi mérete,

H: a lámpa felfüggesztési magassága,

L: a legszélső fénysugár (ahol a tajt éri) és a világítótest közepének a távolsága.

63 LÉG. UT. III.-1. 1941: 127.



11. ábra: Ernyőzési magasság meghatározása

Forrás: LÉG. UT. III.-1. 1939: 23.

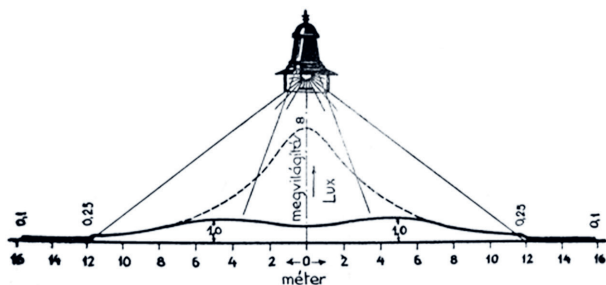
A kialakítást tekintve a lámpaszerveléyek árnyékolóból, ernyőzésből és felerősítő szerkezetből álltak. Elvárás volt, hogy a szerkezet könnyen karbantartható, fényhatás szempontjából állandó és időtálló, illetve olcsón előállítható, jól raktározható, karbantartható legyen.

3. táblázat: Utak csökkentett megvilágítási értékei

Hely		Megvilágítási érték	
		max. lux	Példa
Utak (száraz felületen)	Világos felületen	0,2	Fehér mészkő, fehérre meszelt fal, makadámút
	Sötétebb felületen	0,3	Aszfalt, betonút, sárga fal
	Sötét színű felületen	0,5	salakos út, gyeplő, (fekete) földút

Forrás: a szerző szerkesztése a LÉGO. UT. III. -1. 104.250./eln 35.-1941 VII. táblázat alapján

A közvilágításban az egyszerre szórt és közvetett fényt, illetve csak szórt fényt kibocsátó szerkezetek terjedtek el (12. ábra).



12. ábra: A takaró elem által változtatott fényeloszlás

Forrás: LÉG. UT. III.-1. 1939: 23.

Irányított fények

Teljes elsötétítés alatt az irányfénylámpákra szigorú világítástechnikai előírás vonatkozott, hiszen csak ezek maradhattak égve. Két típusát különböztették meg: a külső és a belső típust. A kilépő fénynyalábnak, ha az a fő fénynyaláb, akkor annak a vízszintestől számítottan legfeljebb 1°-ban, és az egyéb sugárnak pedig 10° figyelési szögben vagy csak ezek alatt volt szabad láthatónak lenniük. A vízszintes szög itt a telepítési magasság miatt, azaz 2,5–3 méter érték miatt vált lényegessé, mivel gyalogos esetén 1,5–2 méter is szóba jöhetett. Azonban elvárt volt a fix rögzítés. A fény erejének olyan kicsinek kellett lennie, hogy 600 méteren belül a fő fénye, 100 méternél nagyobb távolságból a szórt fénye nem lehetett látható, ami a korábbi 500 méterhez és a 0,01 lx értékű térvilágításhoz képest könnyítésnek számított.⁶⁴

Használatuk meghatározásánál azonban a telepítési környezetet is figyelembe kellett venni, mint például a lejtőt. Ebben az esetben a láthatóság szempontjából a megadott figyelési szögnek nagyobb érték is megfelelt. Általánosságban mondhatjuk, hogy ajánlásként a fényforrások 25%-át kellett üzemben tartani irányfényként, de csak az önálló üzeműek nyújthattak segítséget a hálózat kiesése esetén. Legjobb volt, ha ezeket kombinálták. A tájékozódást a fehér (fehér-fekete) festés egészítette ki, amit időközönként meg kellett újítani. Földi és légi megfigyeléssel is ellenőrizhették a megfelelőségét. Az esőcseppek megmaradásából (megüléséből) adódó csillogást el kellett kerülni.

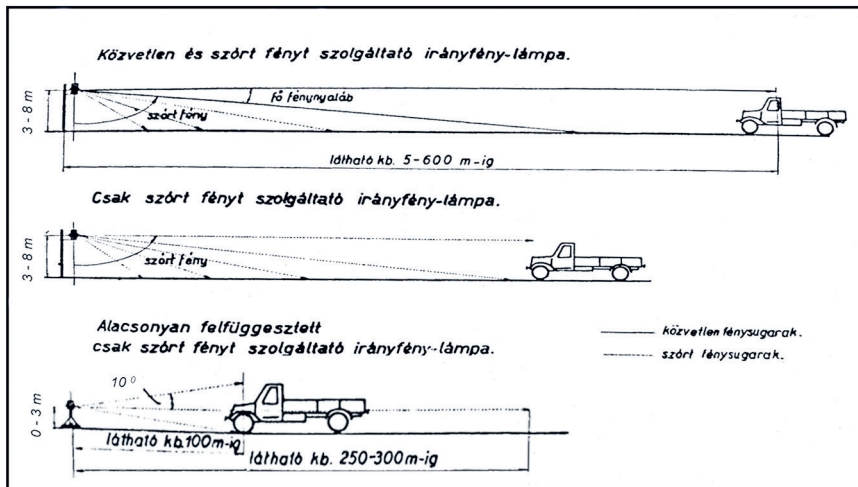
A forgalom számára függeszthették őket az út közepére, falikarra vagy oszlopra. A kapubejáratokat, utcasarkokat, átjárókat, fontos elágazásokat irányfényvel kellett ellátni. A szerelési magasságnak 3,5 méternek kellett lennie, kivéve az akadálylámpáknak, amelyeknek a fénypontmagassága nem lehetett nagyobb 1,5 méternél, és külön oszlopokon helyezték el (13. ábra).

Az irányfények fajtáit és számát tekintve a város nagysága, útvonalai, terei, annak forgalma és a külön megjelölést igénylő intézmények határozták meg. Lehettek egy- vagy kétjelűek, felirattal ellátottak vagy különleges alakúak.

Az irányfényekkel kapcsolatban szigorítást jelentett egy 1943-as rendelet, amelynek megjelenésétől kezdve csak a honvédelmi minisztérium által engedélyezett belső irányfényeket lehetett használni.⁶⁵

⁶⁴ LÉG. UT. III.–2. Elsöt. 2. 1940: 27.

⁶⁵ 166.100/elh. 35. – 1943. HM 4. § és 5. §.

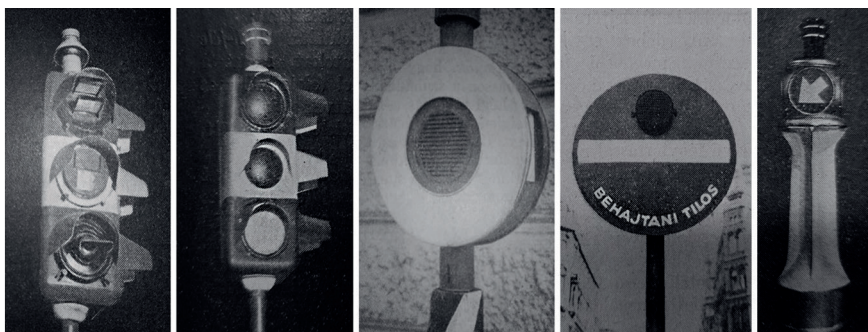


13. ábra: Irányfénylámpák elhelyezési magassága közúton

Forrás: LÉGO. UT. III.-1. 1941: 127.

Forgalombiztonsági berendezések

A forgalomirányítási eszközök, mint a forgalomkorlátozók és a terelők lehetnek függesztettek vagy oszlopra szereltek. A függesztett típusoknál a kedvező magasság a 4–6 méter volt. Az oszlopokat fekete-fehérre festették. De a fényforrások tekintetében a lezárt útszakaszok, építkezések, a menetakadályok jelzésére szolgáló típusoknál a vízszintes felett 3°-os eltérés megengedett volt, ha azok 1,6 méter magasságban voltak felszerelve. Azonban egy helyen sok fényvisszaverő felületnél ernyőzésre volt szükség. Lámpa nélküli jelzőknél a piros-fehér jelzésen kívül fényvisszaverőt is kellett biztosítani (14. ábra és 15. ábra).



14. ábra: Elsötétített forgalombiztonsági eszközök

Forrás: a szerző szerkesztése LÉGO. UT. III.-1. 1941 és LÉGO. UT. III.-3. 1940 alapján



15. ábra: Lámpára szerelhető elsötétítő felszerelés

Forrás: a szerző szerkesztése LÉGO. UT. III.-3. 1940 alapján

Gépjárművek

A járművek világítását belső és külső fényforrásra lehetett felosztani. Beletartoztak a rendszámvilágítás, féklámpák, intőkarok, helyzetlámpák, féklámpák, de még a különféle jelző, azonosító és a menetirányító, illetve szolgálatok megkülönböztető jelzései is.

Ahogy a forgalombiztonsági piros lámpa, úgy a műszerfalon található lámpák fényének is 100 méterről láthatatlannak kellett lennie, ezt azonban biztonsági okokból 1941-ben 200 méterre változtatták.⁶⁶ A keresőlámpát a szükséges legrövidebb időre csak abban az esetben volt szabad használni, ha az a megfelelő fénycsökkentő berendezésen kívül olyan rögzítőszerezettel is el volt látva, amely megakadályozza azt, hogy a lámpa a vízszintes síknál magasabbra világítson.⁶⁷ A fényszórókból az ernyőzés után olyan csökkentett fény léphetett ki, amely az úttesten 40 méteren belül lévő akadályokat jól észrevehetően, magát az úttestet pedig lehetőleg egyenletesen világította meg. Városi világításra kapcsolva a kilépő fénynek olyan erősnek kellett lennie, hogy azt a járművel szemben 80 m távolságból jól fel lehessen ismerni, de a lámpa fényforrását a közel vízszintesen felül történő láthatóság előtt teljesen rejtteni kellett. A gépjárművek hátsó rendszámtáblát megvilágító lámpái számára a lámpa által megvilágított felületek közepes látási viszonyok mellett legfeljebb 200 m távolságból lehettek láthatók.

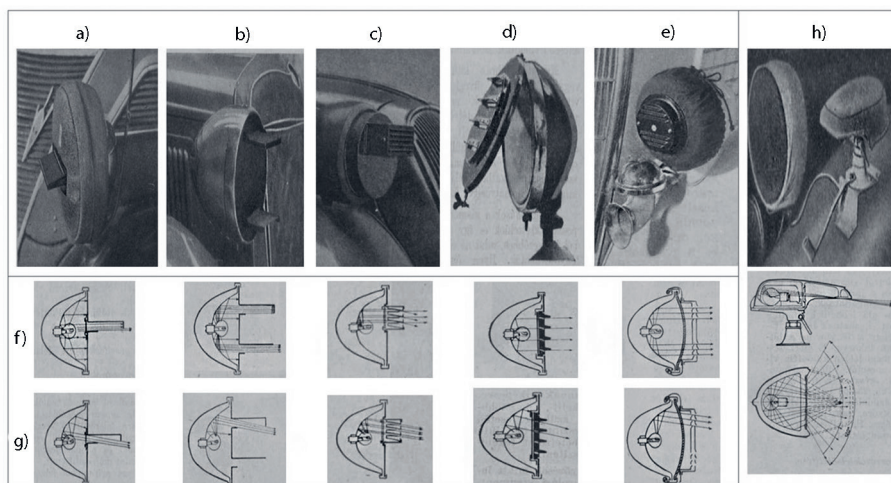


16. ábra: Fénycsökkentett fényszórók és világításuk, illetve a légoltalmi lámpa világítása (bal felső képen)

Forrás: a szerző szerkesztése LÉGO. UT. III.-3. 1940 alapján

⁶⁶ LÉG. UT. III.-3 1940: 33.

⁶⁷ 88.051 eln. Igv.-1939. sz.HM rendelet 2. §.



17. ábra: Fényszórócsökkentők és szórásképek f) országúti és g) tompított fény vagy ködvilágítás esetén, illetve h) a légoltalmi lámpa és szórásképe

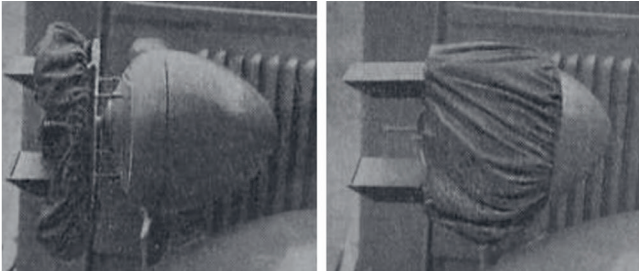
Forrás: a szerző szerkesztése LÉGO. UT. III.-3. 1940 alapján

A szerkezetekkel kapcsolatban elvárás volt, hogy felerősítésük legyen egyszerű, gyors és biztos. A berendezés lehetőleg legyen időtálló, könnyen kezelhető és tisztítható. Kialakításának a jól raktározható elvet is meg kellett valósítania. A honvédelmi miniszter (itt az OLP) a vizsgálatot végző m. kir. Honvéd Haditechnikai Intézet, valamint az Országos Közlekedésrendészeti Bizottság (OKB) együttes szakvéleményének figyelembevételével döntött arról, hogy a vizsgálatra bemutatott fénycsökkentő berendezés megfelel-e az előírt követelményeknek. Az OKB szakvéleményt másolatban a belügyminiszterhez is felterjesztette.⁶⁸

A használt fénycsökkentők lehetnek levehetőek vagy rászerteltek. Néhány szerkezet állítható volt (18. ábra), amelyeken prizmákkal vagy felület kialakításával oldották meg a változtatás módját. A parabolikus tükrözőfelület gyújtópontján kívül elhelyezett izzó csökkentette a kibocsátott fényt. A fényszórókat el lehetett látni szerelhető fényszórócsökkentővel, de külön erre a célra önállóan is alkalmazni lehetett légoltalmi fényszórókat, amelyeket a fényszóróra vagy a sárhányóra vagy a koci hűtője elé szereltek fel⁶⁹ (18. ábra).

⁶⁸ LÉGO. UT. III.-3 1940: 93–98.

⁶⁹ Ez a német autókra volt jellemző.

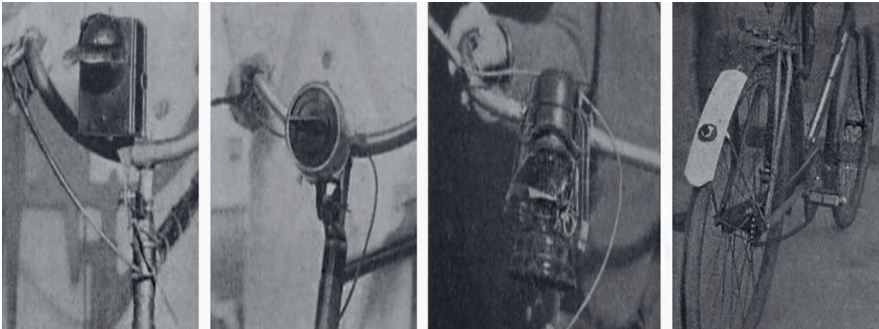


18. ábra: Bizonyos fénycsökkentő eszközökben egy tolóka segítségével változtatható volt a fényszóróból kilépő fény mennyisége

Forrás: a szerző szerkesztése LÉGO. UT. III.-3. 1940 alapján

Kerékpárok és motorkerékpárok

A motorkerékpárok fényforrásait a gépkocsikhoz hasonló módon, eszközökkel és eljárásokkal kellett elsötétíteni. A fényvisszaverőket meg kellett hagyni, és lehetőleg a hátsó részt fehérre kellett festeni. A kerékpárok lámpái lassú haladási sebességnél 10 méterig szolgáltathattak világítást. A hátsó részre fényvisszaverőket lehetett helyezni vagy a sárhányót fehérre⁷⁰ festeni (19. ábra).



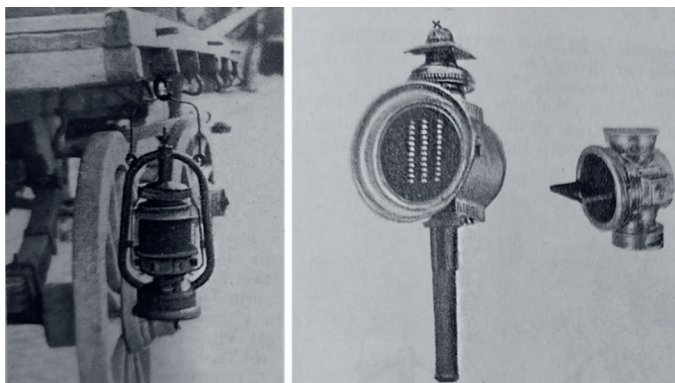
19. ábra: Kerékpárok elsötétítésére javasolt megoldások

Forrás: a szerző szerkesztése LÉGO. UT. III.-3. 1940 alapján

Állati és emberi erővel hajtott járművek

A közúti járművek közül nem hagyták ki az ember és az állat által vontatottakat sem. Az ember által mozgatott targoncákat, ahogy korábban szó volt róla, meg kellett jelölni, azonban a személyi szállításra alkalmazottaknál gondoskodni kellett a világítás korlátozásáról. Teher szállításakor elsötétített viharlámpáról kellett gondoskodni (20. ábra).

⁷⁰ Napi krónika 1942: 4.



20. ábra: Teherkocsikon elsötétített jelző viharlámpa és személyszállító kocsin az elsötétítő szerkezetek
Forrás: a szerző szerkesztése LÉGO. UT. III.-3. 1940 alapján

Városi és közúti vasutak, hajók

Pályán a vonat nagyobb biztonságban van, mint állomáson, mivel a „szerelvények 4000 méter, a füstölgő, gőzölgő mozdonyok pedig 7000 méter magasságból is jól láthatók”. Eleinte úgy vélték, hogy ilyen körülmények mellett az utasok az otthoniaknál fokozottabb veszedelemnek vannak kitéve. Ezért a „vasúti szolgálat a teljes elsötétítést nem ismeri és nem ismerheti”.⁷¹

„A vak sötét éjszakában nagy sebességgel rohanó mozdonyvezetővel a forgalmat irányító szolgálattevő csak fényjelekkel tud érintkezni és fényjelek útján részére rendelkezéseket adni. Ily körülmények mellett tehát még teljes elsötétítés esetén sem szabad ezeket a fényjeleket elol-tani, mert akkor a forgalom irányítása kiesik a szolgálatvezető kezéből.”⁷²

Ezért egy nagyobb pályaudvaron 300–400 váltónak és 50–60 jelzőnek kellett láthatónak lennie a mozdonyvezető szemszögéből, ehhez felszerelték őket olyan szerkezettel, amellyel 80 méter magasságból sem voltak láthatók.⁷³ Ezek lehetnek párhuzamos rácsok vagy felülről fedett kialakításúak. Vasutak vonatlámpáit és fényszóróit úgy kell árnyékolni, hogy azok a forgalom által megkívánt irányban legyenek csak láthatók.

„A közúti vasutaknak természetesen csökkenteni kell a járművek külső- és belső megvilágítását is. A kocsik homlokfalán elhelyezett fényszórókat szabad ugyan használni, de fényüket olyképpen kell csökkenteni, hogy két méter távolságban maximum 0–20 lux, 10 méter távolságban 0–15 lux és 20 méter távolságban csak 0–10 lux fényerőt lehessen tapasztalni. A viszonylatok jelzését ugyancsak szabad megvilágítani, de legfeljebb olyan mértékben, hogy 100 méter távolságról ezek még felismerhetők legyenek, de 500 méteren túl abszolút sötétet mutassanak. A vörös zárófény szabadon használható. Általában a fényt vagy feszültség csökkentéssel, vagy

⁷¹ Hogyan viselkedjünk a vonatban légriadó esetén 1942: 5.

⁷² HÁMORY 1939: 2.

⁷³ HÁMORY 1939: 2.

fényszűrőkkel szorítják a megengedett mértékre. A kocsiból kilépő fénynek teljes megszüntetése rendkívül fontos. Ebből a célból a vonatkozó előírások megszabják, hogy a kocsik ajtajain, vagy ablakain legfeljebb annyi fény léphet ki, hogy a kocsitól mért két méteres távolságban mindössze 0,025 lux legyen csak észlelhető. A kocsik ablakait függönyökkel kell elzárni, a felső nyílásokat, mint szellőzőnyílás stb. olyan módon kell álcázni, hogy azok teljes sötétségben maradjanak. A kocsik belső világítása legalább a rendes kiszolgálás céljaira elegendő kellett, hogy legyen. A világító testeknek azonban olyan módon kell álcázva lenni, hogy a direkt fény szabadba ne juthasson.⁷⁴

Az égő kanócot lejjebb csavarták, és a külső fényeket búrakkal úgy leplezték, hogy a kanóc lángját a vízszintesből megfigyelni ne lehessen. Főbb elsötétítő berendezések:⁷⁵

- váltótestek elsötétítő rácsai;
- mozdonylámpák rácsai;
- be-, kijárat és előjelzők, valamint a vészjelzők jelzőrácsai;
- elsötétítő mozdonyponyvák.

A kocsik külső és belső világítását teljesen ki kell kapcsolni, a kézfékeket behúzni és a kapcsolókat leállítani. Az álló kocsik jelölésére a vonat elején és végén egy-egy, a világítási áramtól független vörös irányfényt kellett használni. Az utasok és a személyzet a kocsik repülőátadás esetén azonnal elhagyták és fedezéket kerestek. A riadó elmúltával a kocsik elején elhelyezett vörös jelzőlámpát eltávolították.⁷⁶

A gőzmozdonyok belső részeiből a messzire villanó fénycsóvák kijutását a mozdonyátorokra rászertelt ponyvák segítségével akadályozták meg. A szertartálynál erre nem volt szükség.⁷⁷

Gázvilágítású kocsiknál az üvegburát feketére festették, csak alul, egy ötpengős nagyságú helyen hagyták szabadon, az ilyen megvilágítás 30 méterről nem látható, ezért a függönyök használata nem volt szükséges, de tilos volt a burát lehajtani.

A felszálló ajtók ablakait kézzel mázolták be. Figyelmeztették az utazóközönséget, hogy ne vakarják le és különböző felírással ne lássák el.⁷⁸

A fülkék és utasterek elsötétítéséért az utasok voltak felelősek, saját lámpát sem használhattak.⁷⁹ Az egyes fülkék elsötétítéséért az abban ülő utasok egyetemlegesen felelősek voltak.⁸⁰ A forgalmi szolgálattevők, továbbá a hajóskapitányok fel voltak hatalmazva arra, hogy az elsötétítés ellen vétő fülkében levő valamennyi utast az illetékes rendőrkapitányságoknál feljelentsék.⁸¹

A végrehajtó forgalmi személyzet riadójel esetén „sohasem vonul óvóhelyére,” „csak a támadás megindításakor,” mert vak riasztás miatti kiesést és helyének elhagyása balesetet

⁷⁴ Közúti forgalom elsötétítés alkalmával 1941: 785.

⁷⁵ HÁMORY 1942: 3.

⁷⁶ Közúti forgalom elsötétítés alkalmával 1941: 785.

⁷⁷ HÁMORY 1939: 2.

⁷⁸ HÁMORY 1944: 2.

⁷⁹ Hogyan viselkedjünk a vonatban légriadó esetén 1942: 5.

⁸⁰ Hogyan viselkedjünk a vonatban légriadó esetén 1942: 5.

⁸¹ HÁMORY 1944: 2.

okozhatott.⁸² Teljes elsötétítés ideje alatt egyetlen fényforrás a kis vasutas lámpa, amelynek három oldalát szintén beragasztották. A be nem ragasztott oldalát a vasutasoknak a kabátjukhoz kellett szorítani. A lámpát csak akkor volt szabad használni, ha arra forgalmi szempontból okvetlenül szükség volt (21. ábra).



21. ábra: Német elsötétítési egységcsomag vasúti dolgozóknak és a Magyar Állami Vasút elsötétített (kézi, illetve mozdony) lámpái

Forrás: a szerző összeállítása a saját gyűjteményéből

A vonatokat már útközben el kellett sötétíteni, és csak teljes sötétségben érkezhettek be az állomásra.⁸³

Repülőtámadás alkalmával a közúti vasút forgalma teljes mértékben leállt. Nem volt szabad útkeresztezésekben vagy olyan helyen megállni, ahol a forgalmat akadályozta. Hidakat és útszorosokat minden esetben szabadon kellett hagyni. Olyan helyen, ahol több vonat volt együtt, az egyes vonatok között legalább tíz méter távolság volt tartandó. A kocsik külső és belső világítását teljesen ki kellett kapcsolni, a kézi fékeket behúzni, és a kapcsolókart le kellett venni. Az álló kocsik jelölésére a vonat elején és végén egy-egy, a világítási áramtól független vörös irányfényt kellett használni. Repülőtámadás esetén a személyzet és az utasok azonnal elhagyták a járművet és fedezéket kerestek. A riadó elmúltával különös gondot kellett fordítani arra, hogy a kocsik elején elhelyezett vörös jelzőlámpát eltávolítsák.

Vasúti pályaudvarok

A vasúti területek több részén eltérő követelmények voltak az elvártak, és nem volt ez másként az elsötétítés ideje alatt sem. Egységesen elmondható volt a fényforrások száma 25%-os csökkentésének igénye.⁸⁴ A fényreklámokat, villanyórákat és más hasonló kivilágításokat,

⁸² HÁMORY 1939: 2.

⁸³ Az első légtámaszgyakorlat Pécsen 1937: 4.

⁸⁴ HÁMORY 1942: 2.

az állomások neoncsöves vagy másképpen megvilágított névtábláit a légvédelmi készültség elrendelésétől kezdve végérvényesen kikapcsolták.

A peronok, az utasok ki- és beszállási helyei, valamint az állomások hozzáfező útjai, továbbá a rakodóhelyek, fűtőházak széncsúszdái stb. csak oly mértékben voltak megvilágíthatók, mint amennyire ezt a személy- és vagyonsbiztonság feltétlenül indokolta. Útátjáróknál, síktolatási helyeken, valamint a gurítódombokon és a saruzók munkahelyén az elsötétítő szerkezettel ellátott égő fényforrásokat az üzemvitel biztonsága szempontjából meghagyták. Minden térvilágítási lámpát csak akkor gyűjtöttak meg, ha arra a végrehajtandó munka szempontjából okvetlen szükség volt.

A térvilágítási lámpákból, amelyeket a csökkentett világitási terv szerint kikapcsoltak, az esetleges véletlen felgyújtás veszélye miatt az égőket vagy a hozzájuk tartozó biztosítékokat kicsavarták.

Mivel belső terekben a kiszűrődő fényt a nyílászárókkal csökkentették, a fényt nem kellett lekapcsolni, és kifelé zsiliprendszerrel hozták létre; ahol a függöny alkalmazása nehézkes volt, ott a belső meghagyandó égők helyét az ablakoktól, külső üvegfalaktól ellentétes oldalon választották ki, és sötétkék égőket vagy mélysugárzó ernyőket alkalmaztak. A jegypénztárakban lehetőleg nem lehettek az izzók 40 wattnál erősebbek.

A pályaoárházakat és megállóhelyeket a légvédelmi készültség elrendelésétől kezdve állandóan elsötétítve tartották. Megfigyelési tapasztalatok szerint az ezekből az épületekből kiáradó fény szabályos ismétlődése már messziről elárulta a vasútvonalak jelenlétét. Ezeken a helyeken még a kizilámpák leplezésére is különös gondot fordítottak.⁸⁵

Hajók és kikötők

A hajózás ügyének biztosítása nehéz feladat volt, mivel a víz hullámozása százszorosan vetítette vissza a legkisebb fényt is. A hajóknak nemcsak nappal, hanem éjszaka is számolni kellett a légitámadás veszélyével. A víz csillogása elárulta a rajta levő sötét foltok alakjában úszó hajókat, ezért éjjel a hajók teljes belső elsötétítéssel közlekedtek. A belső elsötétítés az általános elsötétítési szabályok szerint történt. A hajózási iránylámpákat feltétlenül használni kellett, és a hajókat felszerelték bizonyos fényirányító, illetve fénycsökkentő készülékekkel.⁸⁶ A közlekedést a vízcsobogásból, a gépek zakatolásából állapították meg. A településeken szócsövel odakiáltva hívták fel a figyelmet a riadóra és a megállásra.⁸⁷

A kikötőkben számolni kellett az elektromos közmű áramszolgáltatásának kiesésével. E célra úgy a belső, mint a külső világitás folytonosságának biztosítására szükségvilágitásról kellett gondoskodni. Belső világitási célokra használt olajlámpák vagy aggregátorok a nagy oxigénfogyasztásukra való tekintettel egyáltalában nem jöhettek számításba. Szükségvilágitási

⁸⁵ HÁMORY 1942: 2.

⁸⁶ HÁMORY 1943a: 5.

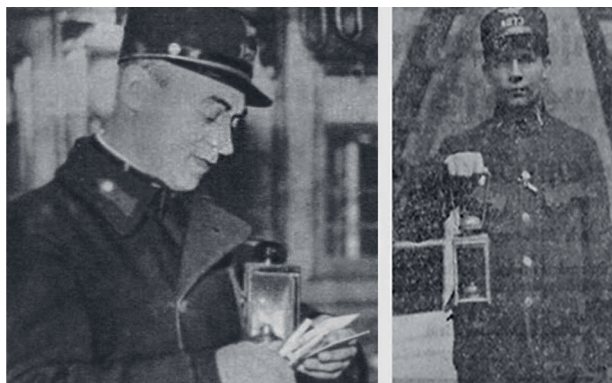
⁸⁷ HÁMORY 1941: 2.

eszközök lehettek a helyi villanytelepek, akkumulátortelemek, kisebb lámpások, kézi zseblámpák. Ha akkumulátor (vagy külső aggregátor) nem volt, zseblámpákat, esetleg gyertyát kellett használatba venni.⁸⁸

Kalauzok, jegyellenőrök

A korábbi bekezdésben volt szó a vasúti forgalmistákról, de a rendelkezések a vezetőket és a járműveken szolgálatot teljesítő személyzet munkáját is érintették. Az elsötétítés befolyásolta a pénz- és a jegykezelést, a tájékozási lehetőséget. A megengedett gyenge lámpa fénye miatt egyszerűsítésre volt szükség. A lyukasztás számát csökkenteni, az áttekinthetőséget növelni kellett. Szorgalmazták az előre vásárlást, ami a hatékonyságot is növelte, illetve a tömött járműveken a személyzet mozgását a könnyebb táskával kívánták elősegíteni.⁸⁹

Elvárt volt a kézilámpák tekintetében, hogy általában három oldalukon legyenek teljesen sötétek, negyedik világító oldalukat pedig, ha arra jeladás vagy bármiféle más okból szükség nem volt, a test felé fordítva kellett tartani.⁹⁰ Ez a szabályozás is változott idővel. Először a gyenge kék fényt is engedélyezték, de később a kézilámpát olyan ernyőzéssel kellett ellátni, hogy fénye használat közben lefelé irányítható legyen, és a fényforrást a vízszintes fölött látni ne lehessen. A kézilámpát csak a szükséges legrövidebb ideig lehetett üzemben tartani. Eleinte a légiriadó alatt kézilámpát tilos volt használni,⁹¹ de ezt később módosították⁹² (22. ábra).



22. ábra: Kalauzok olajmécsesekkel éjszakai légvédelmi gyakorlaton

Forrás: a szerző szerkesztése Az Est 1937 alapján

⁸⁸ HÁMORY 1943b: 3.

⁸⁹ GYULAI 1943: 3.

⁹⁰ HÁMORY 1942: 2–3.

⁹¹ Milyen kézilámpát használhatunk elsötétítés alatt? 1942: 331.

⁹² Elsötétítéskor lehet a csökkentett fényű kézilámpát használni 1942: 2.

Színek, fényszűrők és világító jelek

Előszeretettel alkalmazták a színes festékeket és lumineszcens anyagokat. A megfelelő használathoz az emberi képesség határainak ismeretére kellett támaszkodni, mivel a sötétre beállított szem érzékenysége más, mint a világosra adaptált szemé; a jelenlevő környezeti feltételek sem voltak másodlagosak, mint például a szabadban a hó, a köd, az eső vagy a beltéri helyiségekben a maró, poros, párás, füstös közegek.

Színes fényforrások és szűrők

A színes fényforrás helyes alkalmazásához a spektrális fényeloszlási görbe nyújt segítséget, mivel minden tárgy színét a visszaverés vagy az átérésztés befolyásolja.

Itt érdemes a kék, fehér, piros, fekete festékekre és fluoresszkáló eszközökre kitérni röviden. A kék fény megítélése az elsötétítés kialakulása során változott.⁹³ Bizonyítottan a legkevésbé hatékony és energiatakarékos fényforrás, illetve hamarabb észreveszik, mint a piros, sárga vagy a fehér festésű fényforrást. A másik jelentős gond a hatósági személyekkel való összetéveszthetőség. Érdekesség, hogy a színes fények használatát például Németországban tiltották a közlekedésben,⁹⁴ de a komplementer színek alkalmazását bizonyos esetekben hasznosnak találták és alkalmazták ennek ellenére.⁹⁵

Az égők befestését házilag is elvégezték, amihez speciális üvegfestő kék lakk használatát javasolták. 40 W feletti teljesítményű izzó esetén az égés tartama alatt kifejlődő hőhatás a kék lakkot rövid idő alatt foltossá, kifakulttá tette, ezért ehelyett az izzóknak indigópapírral való bevonását javasolták.⁹⁶

Világítóanyagok és feliratok

A világítóanyagok használata függött attól, hogy volt-e mellette más fényforrás. A középületeket, közintézményeket, szórakozóhelyeket, üzletek bejáratait világító felirattal javasolták ellátni, ami lehetett 5 mm széles rés vagy szövetségben lyukasztott betű, illetve ernyőzött, szórt megvilágítás, esetleg fehér felirat vagy világító festékkel írt felirat. A szabadon hagyott világító rést az utcán nem ajánlották használni.⁹⁷

Az utóvilágításnál a hossz és a fényforrás erőssége is számított. Elsősorban feliratok, jelek készítésére használták fel a festékeket. A foszforeszkáló anyagok egyes típusai rohamosan veszítettek a sugárzásukból. Ezért csak közvetlenül a fényforrások kikapcsolása alkalmával javasolták használni.⁹⁸ A fluoresszkáló anyagoknál külső világítás szempontjából a szemre ártalmatlan ultraibolya-kisugárzó higanygőz vagy kriptonlámpa jelentette a megoldást. Ezt a módszert

⁹³ A légi veszély fennáll, pontosan kell betartani mindenkinek a honvédelmi miniszter utasításait 1942: 9.

⁹⁴ LÖFKEN 1939: 322.

⁹⁵ Komplementer színek alkalmazása 1940: 562.

⁹⁶ HÁMORY 1942: 2.

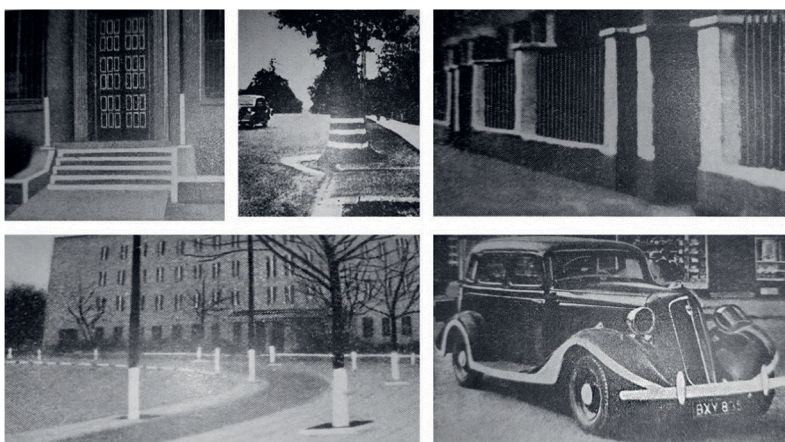
⁹⁷ LÉGO. UT. III.-1 1941: 156.

⁹⁸ BASKAI 1944: 405, 406.

a mérőműszerek számlapjain, hőmérőkön és kapcsolókon alkalmazták előszeretettel, de főleg erőművekben terjedt el.⁹⁹ Ezek a fényforrások kívülről feketére voltak festve, hogy látható fényt ne bocsássanak ki.¹⁰⁰

Radioaktív anyagokkal ellátott festékeket is használtak, de később nem ajánlották, például Németországban 1940-ben meg is tiltották,¹⁰¹ azonban érdekesség, hogy később mégis engedélyezték a használatukat. Előnyük, hogy fénykibocsátásuk szüntelen és egyenletes volt. Elsősorban óvóhelyekre vezető utakon, kapcsolókra festették.¹⁰²

A világító feliratok is 200 méterig lehetnek láthatók, és a betűméretet a szemlélő távolságának az 500-ad része adta meg.¹⁰³ Megjelölték a forgalmas útvonalak kereszteződéseit, irányváltozásait, kiálló épületeket, kerítéseket, fasorokat, lépcsőt, korlátot és az útba eső akadályokat (23. ábra).



23. ábra: Festék használata

Forrás: a szerző szerkesztése LÉGO. UT. III.-3. 1940 alapján

Összefoglalás

A hazai világítástechnikai szakemberek nemzetközileg is elismert úttörő munkát végeztek, akik a gazdasági nehézségek ellenére is igyekeztek a helyes módszereket propagálni. Kitartó munkásságuknak köszönhetően letették a világítástechnika és a munkahelyi világítás alapjait. Az újabb világháború, sorsfordító módon, merőben újszerű kihívást teremtett. Az elsötétítés az egész társadalomra hatással volt, a termelés hatékonyságára és a munkavégzésre is. A szakemberek előadásokat tartottak és szakmai publikációkat jelentettek meg, amivel igyekeztek

⁹⁹ Új módszer erőközpontok és hasonló üzemek elsötétítésére 1938: 258.

¹⁰⁰ Új módszer erőközpontok és hasonló üzemek elsötétítésére 1938: 258.

¹⁰¹ Radioaktívvilágító festékek, 1940: 554.

¹⁰² BASKAI 1944: 406.

¹⁰³ LÉGO. UT. III.-1 1941: 155–157.

bemutatni a helyes világítási módszereket. Munkájuknak köszönhetően az elsötétítés végrehajtási utasításaiba is számos előírás belekerült. A cikkben bemutattam a mérnöki szakemberek előremutató munkáját és a kor kihívására adott mérnöki válaszokat, és egyúttal az általuk megalkotott javaslatokat szembeállítottam az elsötétítés követelményeivel. A következő részben az elsötétítés gazdasági és munkavédelmi hatásairól lesz szó, különös tekintettel az üzemi körülményekre.

Felhasznált irodalom

- BASKAI Ernő (1944): Háború és festék. *Magyar Katonai Szemle*, 14(2), 403–407.
- BRÓDY Imre (1937): A kriptonlámpa. *Elektrotechnika*, 30(19–20), 187–191.
- DEMBITZ Gyula (1936): Beszámoló a szeptember havi előjárósági ülésről. *Villamfelszerelők, Műszerészek és Látszerészek Lapja*, 26(11), 12–15.
- DÚL Árpád (1943): A budapesti villamos vasút hiteles története. *Magyar Vasut és Közlekedés*, 31, 1–2.
- ÉRDI Róbert (1936): Egyenirányítók alkalmazása relék táplálására és vezérlésére. *Elektrotechnika*, 29(17–18).
- FORBÁTH László (1937): Új kereseti lehetőségek a Krypton-lámpa révén. *Villamfelszerelők, Műszerészek és Látszerészek Lapja*, 27(11).
- GREGOR Aladár (1943): A légtalmai elsötétítés világítástechnikája. *Honi Ipar*, 4(8).
- GORTVAY György (1944): *Munkaegészségtan*. Budapest: A Magyar Orvosi Könyvkiadó Társulat.
- GYULAI Géza (1943): A kalauzok munkájának egyszerűsítése. *Magyar Vasut és Közlekedés*, 31(6), 1943.06.20.
- HÁMORY Imre (1939): A vasút légtalma, *Magyar Vasut és Közlekedés*, 27(10)c.
- HÁMORY Imre (1941): A folyami hajózás légtalma, *Magyar Vasut és Közlekedés*, 29(4).
- HÁMORY Imre (1942): A MÁV és közforgalmi magán vasutak, valamint a folyamhajózás és kikötők légtalmai helyzete. *Magyar Vasut és Közlekedés*, 30(11).
- HÁMORY Imre (1943a): A MÁV és közforgalmi magán vasutak, valamint a folyamhajózás és kikötők légtalmai helyzete, *Magyar Vasut és Közlekedés*, 31(8).
- HÁMORY Imre (1943b): A MÁV és közforgalmi magán vasutak, valamint a folyamhajózás és kikötők légtalmai helyzete, *Magyar Vasut és Közlekedés*, 31(12).
- HÁMORY Imre (1944): Vasúti utazás a légvédelmi készültség és légiriadó alatt, *Magyar Vasut és Közlekedés*, 32(1).
- HERCZEG Ferenc szerk. (1943): Ceruzajegyzetek: Amit mindenkinek tudnia kell a világításról. *Új Idők*, 49(1).
- HORVÁTH József (1989): *Budapest díszvilágítása*. Budapest: Tungsram–Hungexpo.
- JASZTRAB Péter János (2024): Az elsötétítés biztonsági aspektusai Magyarországon 1. rész: Alapvetések, teóriák a második világháborúban és az azt megelőző években. *Műszaki Katonai Közlöny*, 34(2), 29–53. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2024.2.3>
- JASZTRAB Péter János – ISTÓK Róbert (2021): A világítás katonai vonatkozásai II/3. rész. A harctéri világítás és az elsötétítés szabályai. *Hadmérnök*, 16(2), 15–32. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2021.2.2>
- JASZTRAB Péter – ISTÓK Róbert (2023): Katonai világítás, 5/1. rész. Légi, közúti, vasúti és vízi járművek világítása. *Hadmérnök*, 18(2), 5–30. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2023.2.1>
- KATHONA Mihály (1942): Hivatalos közlemény az ellenséges légitevékenységekkel kapcsolatban. *Halasi Újság*, 3(73).
- LAMBDA (1930): Lapszemle és kisebb közlemények. *Világítás Elektrotechnika*, 23(19–20).

- LÖFKEN, A. (1939): Grundsätzliche Forderungen für Verdunkelung. *Gasschutz und Luftschutz*, 9(12), 321–323.
- PETRÓ István (1927): Lapszemle és kisebb közlemények. Világítás, *Elektrotechnika*, 20(22).
- PÉCZELY József (1939): Hogyan kell megoldani az üzletek légőtalmát? *Nemzeti Újság*, 21(92).
- PILLITZ Dezső (1936): Világítástechnika. *Villamfelszerelők, Műszereszek és Látszereszek Lapja*, 26(5).
- PILLITZ Dezső (1941): *Világítástechnikai alapismeretek különös tekintettel a légőtalmi elsötétítésre*. Budapest: Világítástechnikai Állomás.
- SÍPOS András (1992): Villany a köztereken és a lakásban. *História*, 14(2), 22–24. Online: https://matarka.hu/klikk.php?cikkmutat=254475&mutat=https://adtplus.arcanum.hu/hu/view/Historia_1992/?pg=36&layout=s
- [Sz. n.] (1938): Fokozott fénykihasználás. *Víz és Világítás*, 15(16).
- [Sz. n.] (1934): Új magyar iparcikkek Zwack J. és Társai Likörgyár. *Honi Ipar*, 27(6).
- [Sz. n.] (1930): Az első budapesti kirakatvilágítási verseny eredménye. *Víz és Világítás*, 7(7–8).
- [Sz. n.] (1931): Az Országos Világítástechnikai Bizottság teljes ülése. *Víz és Világítás*, 8(9–10).
- [Sz. n.] (1939): II. Budapesti Kirakatvilágítási Verseny. *Víz és Világítás*, 15(15–16).
- [Sz. n.] (1929): Pongrácz igazgató nyilatkozata Miért drága a villany a külvárosi házakban. *Délmagyarország*, 5(32).
- [Sz. n.] (1936): Ne kápráztass, hogy el ne kápráztassál! *Autó Motor*, 8(18).
- [Sz. n.] (1929): Racionális üzemszervezés. *Nyomda- és Rokonipar*, 19(4).
- [Sz.n.] (1936): Ki használ ma már régi lámpákat, amikor sokkal jobb a BOSCH-világítás. *Auto-Traktor-Magyar Auto-Touring*, 7(10).
- [Sz. n.] (1943): Elsötétítés alatt is lelet a gyümölcsösökben füstölni fagyveszély esetén. *Függetlenség*, 11(106).
- [Sz. n.] (1942): Hogyan viselkedjünk a vonatban légriadó esetén. *Népújság Hódmezővásárhely*, 15(223).
- [Sz. n.] (1937): Az első légőtalmi gyakorlat Pécsen, Csökkentett világítás és teljes elsötétítés. *Dunántúl*, 27(268).
- [Sz. n.] (1942): Közúti forgalom elsötétítés alkalmával. II. Közlemények. *Városi Szemle*, 27.
- [Sz. n.] (1942): Milyen kézilámpát használhatunk elsötétítés alatt? *Oroszázi Friss Hírek*, 19(216).
- [Sz. n.] (1942): Elsötétítéskor lehet a csökkentett fényű kézilámpát használni. *Ellenzék*, 63(218).
- [Sz. n.] (1942): A légi veszély fennáll, pontosan kell betartani mindenkinek a honvédelmi miniszter utasításait. *Magyar Jövő*, 24(225).
- [Sz. n.] (1938): Új módszer erőközpontok és hasonló üzemek elsötétítésére. *Magyar Katonai Szemle*, 8(2).
- [Sz. n.] (1940): Radioaktívvilágító festékek. *Magyar Katonai Szemle*, 10(2).
- [Sz. n.] (1940): Komplementer színek alkalmazása. *Magyar Katonai Szemle*, 10(2).
- [Sz. n.] (1927): Napi krónika. *Szentesi Napló*, 24(264).
- [Sz. n.] (1927): Albert Thomas nyilatkozata magyarországi missziójáról és tapasztalatairól. *Pesti Hírlap*, 49(46).
- [Sz. n.] (1937): Fotoriport az éjszakai légvédelmi gyakorlatról. Az elsötétített autóbuszokban a kalauzok olajméccsel világítottak felszálló utasoknak. *Az Est*, 28(234).
- [Sz. n.] (1937): Légi riadó! Készülnek a villamosok a légvédelmi gyakorlatra, így fogják elsötétíteni a kocsik lámpáját. *Az Est*, 28(233).
- [Sz. n.] (1937): Ma éjjel sötétíted el az ablakot és kapcsold be a rádiót! Mit kell tudni a légőtalmi gyakorlatról? *Új nemzedék*, 19(233).
- URBAN Franciska – VISZKET Zoltán – BAZSALYA Kornél (2012): *Óbudára nézve nagy változás állt be. Harrer Pál és a városegyesítés kora*. Időszakos kiállítás az Óbudai Múzeumban 2012. május 4. – 2013. január 31. Budapest: Óbudai Múzeum. Online: https://library.hungaricana.hu/hu/view/MUZE_BP_OBUDA_Sk_2012_IdoszakiKiall/?pg=0&layout=s
- VERESS D. Csaba (1980): Veszprém megye és a Szövetséges Hatalmak stratégiai légitámadásai a második világháborúban. Veszprém: Veszprém Megyei Múzeumok Közleményei 15. 167–202. Online: https://epa.oszk.hu/01600/01610/00015/pdf/vmm_15_1980_12_veress.pdf

- WILLHEIM Gusztáv (1930): Külföldi tapasztalatok a vasúti fényszóró világítás terén. *Magyar Vasút és Közlekedés*, 18(9–10).
- WILLHEIM Gusztáv (1935): A világítástechnika gyakorlati alkalmazása a gyárvilágítás terén. *Elektrotechnika*, 28(13–14).
- WILLHEIM Gusztáv (1937): Jó világítás a mezőgazdaságban. Világítástechnika. *Víz és Világítás*, 14(3–4).
- WILLHEIM Gusztáv (1938): A világítástechnika gyakorlati alkalmazása a vasúti üzemben. *Elektrotechnika*, 31(9–10).
- WILLHEIM Gusztáv (1943): Világítási villamosenergiamegtakarítás a gyáriparban. *Honi Ipar*, 4(22).
- ZIPERNOWSKY Ferenc (1935): A Világítástechnikai Állomás működése és a világítástechnika általános fejlődése 1933/34-ben. *Elektrotechnika*, 28(2).

Jogi források

- 86.800/1942. KM rendelet A Tungstram, Oron és Osram izzólámpák egységes fogyasztói árának megállapítása tárgyában
- 83.702/1929/XVII. KM rendelet Országos Világítástechnikai Bizottság szervezete és ügyrendje
- 88.002/el. lgy.-1939. HM rendelet A légoltalmi elsötétítő szolgálatról
- 166.100/el. 35.-1943. HM rendelet A vendéglátó ipari üzemekben honi légvédelmi készütség idején a belső irányfények használatának újabb szabályozása
- LÉGO. UT. III.-1. 88.082./el. 35.-1939 HM rendelet alapján kiadott Utasítás a légoltalmi szolgálat ellátására, (Elsöt. 1.) Közvilágítás, m.kir HM kiadványa, Athenaeum Rt., Budapest 1939.
- LÉGO. UT. III.-1. 104.250./el. 35.-1941 HM rendelet alapján kiadott Utasítás a légoltalmi szolgálat ellátására, (Elsöt. 1.) Közvilágítás elsötétítése, II. kiadás m.kir HM kiadványa, Athenaeum Rt., Budapest 1941.
- LÉGO. UT. III.-2. 81.900/el. lgy. 1940. HM rendelet alapján kiadott Utasítás a légoltalmi szolgálat ellátására, (Elsöt.2.), Épületek elsötétítése, m.kir HM kiadványa, Athenaeum Rt., Budapest, 1940.
- LÉGO. UT. III.-3. 83.000/el. lgy. 1940. HM rendelet alapján kiadott Utasítás a légoltalmi szolgálat ellátására, (Elsöt.3.), Közúti járóművek és forgalombiztonsági fényforrások elsötétítése, m.kir HM kiadványa, Athenaeum Rt., Budapest 1940.

Almási Csaba¹, Cimer Zsolt², Kátai-Urbán Lajos³

Közúti veszélyesáru-szállítási káresemények vizsgálata

Investigation of Road Transport Incidents Involving Dangerous Goods

A veszélyes anyagokkal kapcsolatos tevékenységek biztonságát az ipari forradalmak óta mára számos nemzetközi egyezmény garantálja, ugyanakkor a kockázat sosem csökkenthető nullára. Kiemelten igaz ez az áruk helyzetváltoztatásából adódó veszélyhelyzetek kialakulására, ahol rendkívül nehezen előrejelezhető a helyszín, az időpont és a következmény. Jelen publikáció a közúti veszélyesáru-szállítási balesetek okainak, következményeik és bekövetkezési gyakoriságuk vizsgálatával, a kockázatcsökkentés lehetőségeivel, valamint a következménykezelés hatékonyságát növelő műszaki megoldásokkal és azok célszerű alkalmazásával foglalkozik.

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

Since the industrial revolutions, the safety of activities involving dangerous substances has been guaranteed by numerous international conventions, but the risk can never be reduced to zero. This is particularly true of the emergence of hazardous situations due to the changing position of goods, where it is extremely difficult to predict the location, time and consequence. This publication deals with the causes, consequences and frequency of road transport accidents involving dangerous goods, the possibilities for risk reduction, and the technical solutions for improving the effectiveness of consequence management and their appropriate application.

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

¹ Tanársegéd, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Rendészettudományi Kar Katasztrófavédelmi Intézet Iparbiztonsági Tanszék, e-mail: almasi.csaba@uni-nke.hu

² Dékán, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Vízstudományi Kar, e-mail: cimer.zsolt@uni-nke.hu

³ Tanszékvezető, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Rendészettudományi Kar Katasztrófavédelmi Intézet Iparbiztonsági Tanszék, e-mail: katai.lajos@uni-nke.hu

Bevezetés

Az Egyesült Nemzetek Szervezete 17 fenntartható fejlődési célt tűzött ki 2030-ra, amelyek közül a 3. „Az egészséges élet biztosítása és a jólét előmozdítása minden korosztály számára”. E célrendszer keretében található a „Veszélyes vegyi anyagok, valamint a levegő-, víz- és talajszennyezés által okozott halálesetek és megbetegedések csökkentése (3.9)”.⁴

A veszélyesáru-szállítás folytonosságának és zavartalanságának fenntartása kiemelt állami érdek. A szállítás során bekövetkező rendkívüli események megelőzése és kezelése a hivatásos katasztrófavédelmi szerv egyik alapfeladata. A veszélyhelyzet-megelőzés és -kezelés alapvető elemei a rendkívüli esemény körülményeinek lehető legtöbb részletre kiterjedő feltárása, dokumentálása, majd az adatok gyűjtése, rendszerezése és elemző értékelése.

Jelen publikáció célkitűzése elemző és rendszerező vizsgálatok útján képet alkotni a magyarországi közúti veszélyesáru-szállítási veszélyeztetettségről, valamint a balesetek bekövetkezési mintázatáról.

A vizsgálat elvégzéséhez tanulmányozandó rendkívüli események körülményeinek feltárása és dokumentálása megtörtént, a szükséges adatokat a BM Országos Katasztrófavédelmi Igazgatóság (BM OKF) baleseti adatbázisa és a nyílt források tették lehetővé. A publikációban a Magyarországon 2012 és 2022 között bekövetkezett, közúti veszélyesáru-szállítási balesetek elemző, értékelő és rendszerező vizsgálati részeredményeinek közlése történik meg.

Az adatok feldolgozása során különös tekintettel kell lenni a balesetek kiváltó okaira, a kritikus útszakaszokra, a kritikus időszakokra, valamint a kockázatos árukra vonatkozó információk feltárására és értékelésére, amelyek eredményeképpen később meghatározható a megfelelő kockázatelemzési módszertan és kidolgozhatók effektív kockázatcsökkentő intézkedések.

Veszélyesáru-szállítási és vegyianyag-termelési teljesítmények az Európai Unióban

A Központi Statisztikai Hivatal adatai alapján hazánkban az összes áruszállítási teljesítmény mintegy kétharmada közúti forgalomban valósul meg, amely 2022-ben 37,4 milliárd árutonna-kilométert jelentett.⁵

Az áruszállítási összmenyiségek megoszlásából arra lehet következtetni, hogy a közlekedési ágazatok közül a közúti szállítási mód jelenti a legnagyobb kockázatot. Az Európai Unióban 2022-ben a veszélyes áruk közúti szállításának részesedése 3,5, míg 2023-ban 3,4% volt az összes áru viszonylatában, Magyarországon ez az arány 2022-ben 2,5, 2023-ban 3,3%.⁶

Európa általános vegyianyag-termelési tendenciáját 2004 és 2022 között mindössze két krízisszakasz törte meg. Az egyik 2009-ben, a pénzügyi és gazdasági világválság, majd 2020-tól

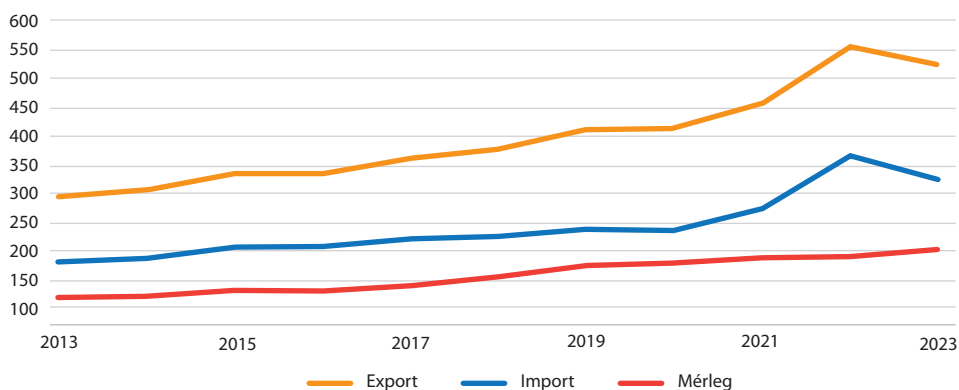
⁴ United Nations 2024.

⁵ Központi Statisztikai Hivatal 2024.

⁶ Eurostat 2024a.

koronavírus-járvány időszakában. A kontinens nyugati országainak területein összpontosuló vegyipari össztermelés 2022-ben már 190 millió tonna volt.⁷

2023-ban az EU vegyianyag-importja 10,4%-kal, míg az export 5,4%-kal csökkent. A kereskedelmi mérleg azonban 8 milliárd euróval nőtt. Hosszabb időszakot tekintve, 2002 és 2023 között az EU vegyi anyagok és kapcsolódó termékek behozatala 97 milliárd euróról 325 milliárd euróra emelkedett 2023-ra, amely éves átlagban 5,9%-os növekedésnek felel meg. Ugyanebben az időszakban az export 152 milliárd euróról 523 milliárd euróra nőtt, ami 6,1%-os átlagos éves növekedést jelent. A 2002–2023 közötti időszakban a vegyi anyagok kereskedelme folyamatosan növekvő tendenciát mutat, a 2002-es 55 milliárd euróról 2023-ra elérte a 198 milliárd eurót⁸ (1. ábra).



1. ábra: Vegyi anyagok kereskedelme és gyártása, milliárd euróban kifejezve, EU, 2023.

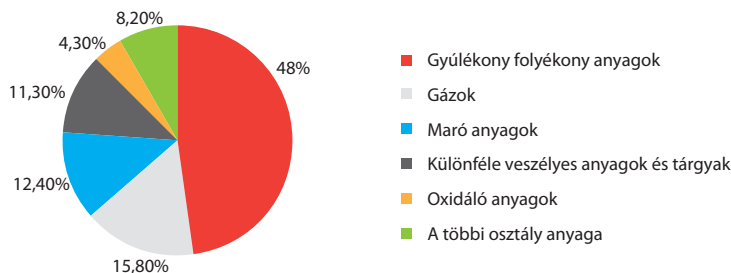
Forrás: Eurostat

A vegyianyag-kereskedelem fokozatos növekedéséből arra következtethetünk, hogy a jövőben a szállítási balesetek kockázata is emelkedik.

2023-ban a közúton szállított veszélyes áruk megoszlását illetően a legnagyobb csoportot a gyúlékony folyékony anyagok jelentik (ADR 3. osztály) 48,8%-kal. A gyúlékony folyékony anyagokat a gázok (ADR 2. osztály) követik 15,8%-kal, majd a maró anyagok (ADR 8. osztály) 12,4%-kal. A veszélyes áruk e három osztálya a közúton szállított veszélyes áruk összes tonnakilométerének több mint háromnegyedét, 77%-át tette ki 2023-ban (2. ábra).

⁷ Eurostat 2024b.

⁸ Eurostat 2024c.



2. ábra: Veszélyes áruk közúti szállításának megoszlása árutípusonként. EU, 2023. (Százalékos részesedés tonnakiló-méterben meghatározva)

Forrás: Eurostat 2024a

A tűzveszélyes tulajdonság a gyúlékony folyékony anyagokon kívül több osztályt is jellemez. A gyúlékonyság megjelenik az 1. osztály robbanóanyagok és tárgyak 1.3, 1.4 és 1.5 alosztályában, a 2.1 osztályban a gyúlékony gázok esetében, a 4.1 osztályba tartoznak a gyúlékony szilárd anyagok, önreaktív anyagok, polimerizálódó anyagok és szilárd, érzéketlenített robbanóanyagok. A 4.2 az öngyulladásra hajlamos anyagok osztálya, a 4.3 osztályba tartoznak a vízzel érintkezve gyúlékony gázokat fejlesztő anyagok, az 5.1 a gyújtó hatású (oxidáló) anyagok osztálya. Az 5.2 a szerves peroxidoké, továbbá a 8. osztály maró anyagai is meg tudnak gyújtani tárgyakat. A 9. osztályba tartoznak az úgynevezett különféle veszélyes anyagok és tárgyak, amelyek az osztályozás alapelvei szerint máshová nem sorolhatók, de ez nem jelenti, hogy kevésbé veszélyesek. Utóbbiba tartoznak például a lítiumion-akkumulátorok, amelyek egyre növekvő száma a közúti közlekedésben komoly tűzoltói kihívást jelent.⁹ A tűzveszély tehát jóval túlmutat a gyúlékony folyékony anyagok fenti, 48,8%-os arányán.

Veszélyesáru-szállítási balesetekre vonatkozó, nyílt hozzáférésű adatbázisok hiányosak és gyakran elavultak. Az Európai Unió statisztikai jelentései vasúti és belvízi úti veszélyesáru-szállítási balesetekre vonatkoznak, közúti közlekedési ágazattal kapcsolatos adatok nehezen, vagy egyáltalán nem lelhetők fel. Az EU 2015-ben publikált utoljára összes tagállamra vonatkozó jelentést, amely szerint 2013-ban 48 vasúti veszélyesáru-szállítási baleset történt, amelyek 67%-ában történt anyagkiszabadulás. Ugyanebben a jelentésben olvasható, hogy 2013-ban mindössze 3 belvízi veszélyesáru-szállítási baleset történt (egy Bulgáriában, egy Ausztriában és egy Magyarországon).¹⁰ A közúti ágazatra vonatkozó információk tehát hiányosak, de a vasúti és a folyami adatok sem frissülnek.

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

⁹ HORVÁTH – KÁTAI-URBÁN – VASS 2021.

¹⁰ Eurostat 2024d.

A közúti veszélyesáru-szállítás nemzetközi és hazai normarendszere

A Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Európai Megállapodást (European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road: ADR) 1957. szeptember 30-án írták alá Genfben. Mellékleteivel 1968. január 29-én lépett hatályba. Először 1975. augusztus 21-én módosították, amely a megállapodás törzsszövegét, a 14. cikk (3) bekezdést érintette. A rövid törzsszövegű Megállapodás legfontosabb része a 2. cikk, amely szerint az „A” és a „B” Mellékletében foglalt feltételek szerint lehet szállítani azokat az anyagokat, amelyek nemzetközi szállítását az „A” Melléklet nem tiltja. Az „A” Melléklet az adott veszélyes árura, különösen annak csomagolására és bárcázására ír elő feltételeket, a „B” Melléklet az adott árut szállító jármű szerkezetére, felszerelésére és közlekedésére. Az ADR egymástól elválaszthatatlan „A” és „B” Mellékletét hatálybalépésük óta rendszeresen felülvizsgálják és módosítják.¹¹

Magyarország egy 1976 szeptemberében, Aszódon bekövetkezett, cseppfolyós etilén-szállítvány-balesetet követően, 1979-ben csatlakozott a Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Európai Megállapodáshoz (ADR). A Megállapodást hazánkban az 1979. évi 19. törvényerejű rendelet hirdette ki, 1979. augusztus 18. napján lépett hatályba, és a 20/1979. (IX. 18.) KPM rendelet írta elő a mellékletek belföldi alkalmazását.

Az 1979. évi 19. törvényerejű rendeletet 2020-ban módosították, miután az ENSZ erre szakosított szervezete a Megállapodás címéből eltávolította az „Európai” szót. Ma hazánkban a Megállapodás szövegére vonatkozóan az 1957. szeptember 30-án létrejött, a Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Európai Megállapodás (ADR) módosításáról szóló Jegyzőkönyv és a Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Megállapodás egységes szerkezetben történő kihirdetéséről szóló, 508/2020. (XI. 18.) Korm. rendelet hatályos. Az Európai Unió tagállamai számára ma egységesen kötelező érvényű a veszélyes áruk szárazföldi szállításáról szóló 2008/68/EK irányelv a közúti, a vasúti és a belvízi szállításokra vonatkozó nemzetközi szabályok alkalmazása.

A 2012. január 1-jén, az új Alaptörvénnyel egyidejűleg lépett hatályba a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról szóló 2011. évi CXXVIII. számú törvény. Az új katasztrófavédelmi törvény nyomán jelentős változások következtek be az állami tűzoltóság és a polgári védelem 2000. január 1-jei integrációja óta. A modern magyar katasztrófavédelem 2012. január 1. óta kiegészült egy azonos fontosságú ágazattal, az iparbiztonsági feladatok rendszerével, a lakosság élet- és vagyónbiztonságának megóvása, a nemzetgazdaság védelme, a magyar ipar biztonságának növelése és garantálása érdekében. Az új katasztrófavédelmi törvény egyik legfőbb alaptétele, hogy a katasztrófák elleni védekezés nemzeti ügy, tehát az állam szerepét növelni és a megelőzési jelleget erősíteni kell. A katasztrófavédelem alapvető rendeltetése a veszélyeztető tényezők azonosításával, a kockázatelemzéssel, információszolgáltatással, a tájékoztatással, a felkészítéssel, az értesítéssel, a riasztással, a hatósági döntés kialakításával, a beavatkozással, a rehabilitációval, valamint a veszélyeztetés és a tett intézkedések közötti arányosság biztosításával valósul meg. A katasztrófavédelem

¹¹ UNECE 2024.

feladatrendszere egy irányban és elemeiben egymással időben nem felcserélhető periódusban mozog, amelyek a megelőzés, a mentés és kárelhárítás, a helyreállítás-újraépítés.¹²

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

A közúti közlekedésről szóló 1988. évi I. törvény alapozza meg az egyes hatóságok önálló ellenőrzéssel és a bírságolási eljárás lefolytatásával kapcsolatos jogosultságát. Bírságolással kapcsolatos eljárás lefolytatását a törvény az ellenőrzési jogosultsághoz igazodóan határozza meg. Az ellenőrzésre jogosult szervek a közlekedési hatóság, a rendőrség, a vámhatóság, a katasztrófavédelmi hatóság.

Közúti veszélyesáru-szállítási balesetek elemző vizsgálata

A veszélyes áruk szállítására vonatkozó nemzetközi szabályozási keretrendszer (ADR, RID, ADN, IMDG Code és IATA DGR) meghatározza többek között az osztályozásra, a csomagolásra vagy a járművekre vonatkozó műszaki követelményrendszert, a szállítható mennyiségeket, a személyzet képzésére vagy a fuvarokmány-bejegyzésekre vonatkozó előírásokat. Nem ad ugyanakkor konkrét útmutatást a kockázatkezelés módszertanára vonatkozóan. A veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek veszélyeinek kezeléséről szóló 2012/18/EU irányelv („Seveso III” Irányelv) előírásai szigorú kockázatkezelésre vonatkozó követelményeket határoznak meg, amelyek nem terjednek ki a szállításra vagy az ideiglenes tárolásra. Az ISO 39001 szabvány, a Közúti és Közlekedésbiztonsági Irányítási Rendszer (RTSMS) meghatároz a közúti kockázatok csökkentésére szolgáló iránymutatásokat. A közúti közlekedésbiztonság javítása az életminőség javítása szempontjából stratégiai jelentőségű kérdés.¹³

Nancy P. Button és Park M. Reilly (2000) a közúti veszélyesáru-szállítás során bekövetkező anyagkiszabadulások és tüzesetek előre jelezhetőségét és ismétlődésének gyakoriságát kutatták. A tanulmányban kísérletet tettek annak meghatározására, hány esemény várható egymilliárd járműkilométerenként.¹⁴ Ohtani és Masayuki Kobayashi (2005) a Japánban bekövetkező, egyre emelkedő számú veszélyesáru-szállítási balesetek számának növekedése miatt vizsgálni kezdték a bekövetkezések okait. A balesetek számának növekvő tendenciájára nem sikerült magyarázatot adni, amelynek fő okaként a felhalmozott adatok minőségét és megbízhatóságát tették felelőssé.¹⁵

A közúti veszélyesáru-szállítás rendkívüli eseményeit előidéző okok meghatározhatók és osztályozhatók. A Magyarországon 2012 és 2022 között bekövetkezett, közúti

¹² MUHORAY 2016.

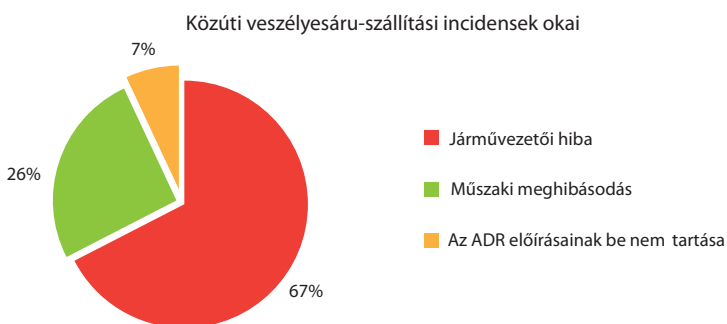
¹³ CONCA–RIDELLA–SAPORI 2016.

¹⁴ BUTTON–REILLY 2000.

¹⁵ OHTANI–KOBAYASHI 2005.

veszélyesáru-szállítási balesetek elemző vizsgálatát és osztályozását a BM Országos Katasztrófavédelmi Igazgatóság (BM OKF) adatbázisa és nyílt források tették lehetővé.

A vizsgált szállítási események 67%-a olyan humán hiba következménye, amely nem függ össze technikai meghibásodással vagy az ADR szabályainak be nem tartásával (3. ábra). Téves lenne azonban kizárólag a járművezetők felkészültségének, mentális és fizikai kondíciójának ellenőrzésére, illetőleg annak hatékonyságára koncentrálni. A járművezetői hiba értelmezése és annak csökkentése csak a kockázatos útszakaszok és időszakok figyelembevételével és együttes vizsgálatával lehetséges. A mesterséges intelligencia alkalmazása lehetőséget nyújthat a járművezető kiváltására és a kockázat jelentős csökkentésére a közúti teherszállításban is, azonban a kulturális beágyazottság miatt, a humán tényező soha nem lesz kizárható a közúti közlekedésből.



3. ábra: A vizsgált időszak rendkívüli eseményeinek dokumentált okai (2012–2022)

Forrás: a szerzők szerkesztése

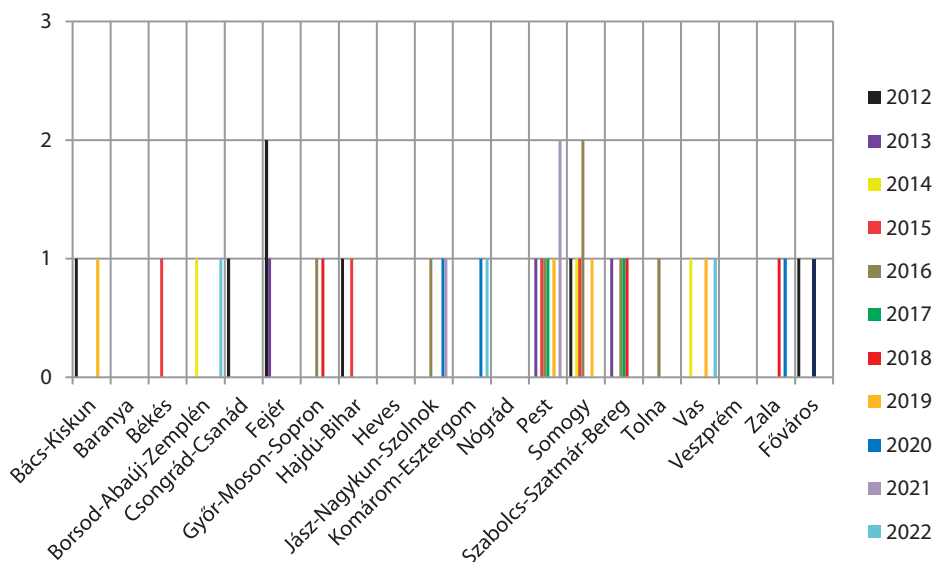
A bekövetkezett események 26%-a műszaki meghibásodás eredménye, ezekben az esetekben nem az ADR szabályainak megsértése és nem humán mulasztás miatt kellett beavatkozni. Az ilyen események csak a járművek és a küldeménydarabok rendszeres, esetleg soron kívüli, telephelyi ellenőrzésével kerülhetnek el.

Az ADR szabályainak be nem tartásával összefüggő káresemények mindössze 7%-át teszik ki az összes eseménynek, amelyek a vizsgált valamennyi esetben rakományrögzítési hiányosságot jelentettek. Az ilyen típusú események szintén a szállítás előkészítésének soron kívüli, telephelyi ellenőrzésével előzhető meg.

A közúti veszélyesáru-szállítási baleset bekövetkezési kockázatának szempontjából meghatározhatók azok az útszakaszok, ahol az események ismétlődésének veszélye áll fenn, valamint azok a vármegyei katasztrófavédelmi igazgatóságok, amelyek másoknál gyakrabban érintettek súlyos veszélyesáru-szállítási események bekövetkezésében.

Autóúton és autópályán található az az útszakaszok, amelyeken a vizsgált időszakban megismétlődött (egynél több alkalommal következett be) súlyos baleset. Az eredmények alapján az M3 autópálya 80–171 km szakaszán, valamint az M7 autópálya 54–156 km közötti szakaszán a hatósági ellenőrzés fokozása vagy sebességkorlátozás bevezetése indokolt veszélyes árut szállító járművek részére.

A közúti veszélyesáru-szállítási balesetek bekövetkezésének gyakorisága szempontjából leginkább a Pest, a Somogy és a Szabolcs-Szatmár-Bereg Vármegyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság néz szembe kihívásokkal (4. ábra).



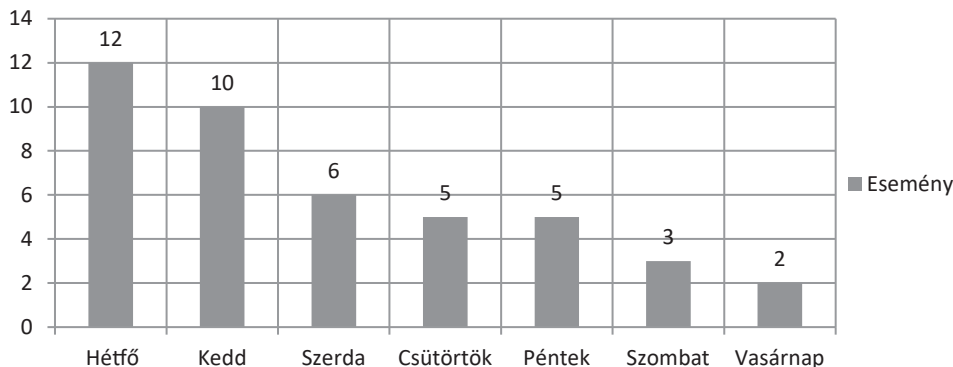
4. ábra: Az események vármegyei megoszlása (2012–2022)

Forrás: Almási Csaba szerkesztése

Tranzitforgalomban közlekedő, veszélyes árut szállító közúti járművek útvonalának kijelölése, az intermodális árutovábbítás megszervezésével vagy a vasút jobb kihasználásával ma is kínál kockázatcsökkentő megoldásokat.

Közúti veszélyesáru-szállítási baleset bekövetkezésének kockázata szempontjából meghatározhatók továbbá azok az időszakok, ahol az események ismétlődésének kockázatával kell számolni. Megállapítható, hogy az egyes események bekövetkezése nem mutat jelentős eltérést egyik évszak vagy hónap javára sem, azonban hónapok tekintetében a február és a június némileg kiemelkedik.

Az összes vizsgált esemény 28%-a hétfői napon, 23%-a kedden következett be. A hét elején tehát a legmagasabb a baleset bekövetkezésének kockázata, amely a hét vége irányában egyenletes csökkenést mutat (5. ábra).



5. ábra: Az események megoszlása a hét napjai között (2012–2022)

Forrás: Almási Csaba szerkesztése

Közúti veszélyesáru-szállítási baleset bekövetkezése szempontjából a reggeli és délelőtti időszak (06.00–14.00 óráig) kiemelt kockázatot jelent. Az események 65%-a a napnak ebben az időszakában következett be. A baleset bekövetkezésének kockázata szempontjából meghatározhatók a szállítás rendkívüli eseményei során leginkább érintett anyagok.

A vizsgált időszakban 48 darab, különböző típusú (UN-számú) veszélyes áru volt érintett, amely 46%-ban gyúlékony folyékony anyag, 12,5%-ban maró anyag (8. osztály), 10–10%-ban gáz és a 9. osztály anyaga volt. Az egyes eseményekben érintett, összes gyúlékony folyékony anyag csupán mintegy 36%-a tartozik a veszélyesebb, II. csomagolási csoportba. Megállapítható továbbá, hogy gyúlékony gázok esetében is alacsonyabb a balesetben való érintettség a szállítási arányokhoz képest.

Fontos figyelemmel kísérni azt a körülményt, hogy a kiszabadult veszélyesáru-mennyiség 74,4%-a vízi környezetre veszélyes anyag. Tekintettel a víz agrár- és nemzetgazdasági-stratégiai, valamint természetvédelmi jelentőségére, a vízi környezet védelmének szükségességére, az ilyen típusú balesetek gyakoriságát csökkenteni kell. Érdemes megfontolni a nagy mennyiségben, nem küldeménydarabban szállított, környezetre veszélyes anyagok, például a gázolaj (UN 1202), valamint a környezetre veszélyes folyékony és szilárd anyagok (UN 3082 és UN 3077) bevonását a közbiztonsági előírások hatálya alá.

Kidolgozható és elvégezhető a közúti veszélyesáru-szállításra vonatkozó, veszélyeztetési értékelés, meghatározott útszakaszok vonatkozásában. Kockázatelemzés elvégzése javasolt egyes útvonalak vonatkozásában, ahol a lakosság, különleges létesítmények (alagút, híd, kritikus infrastruktúra, műemlék stb.) vagy környezetvédelmi területek veszélyeztetése fennáll. A közúti veszélyesáru-szállításra vonatkozó veszélyeztetés értékelésére többlépcsős módszertan javasolt. E többlépcsős módszertan első lépése a vizsgálandó útszakasz azonosítása, második lépése a kockázatelemzés elvégzése. A bekövetkezett események elemző értékelése alapján

megvizsgáltuk a bekövetkezett rendkívüli események elhárításának jelenlegi gyakorlatát. Nijolė Batarlienė (2008) rámutatott, hogy a veszélyes anyagok szállításának biztonsága a szállítási technológiák fejlesztésén és a modern informatikai módszerek alkalmazásán alapul, amelyek a szállítási lánc teljes folyamatára ki kell terjednie.¹⁶ Ilyen lehet például a CCTV-lefedettség, úthálózatok vonatkozásában. A brit kormány például élen járt (többek között) a közlekedési létesítményekben történő videómegfigyelési rendszerek bevezetésében.¹⁷

Veszélyes áruk közúti szállításának balesete több, mentésben részt vevő szerv és hatóság bevonását és együttműködését igényelheti, ezért a folyamatos és időszerű információcserre elengedhetetlen az egyes feladatok hatékony megszervezése és megoldása szempontjából.¹⁸

Összegzés

A 2012 és 2022 között Magyarországon bekövetkezett, súlyos közúti veszélyesáru-szállítási balesetek okainak, következményeinek és frekvenciájának elemző vizsgálatára folyamatosan szükség van a súlyos balesetek bekövetkezési gyakoriságának csökkentése és a kockázatcsökkentő intézkedések meghatározása érdekében, különös tekintettel a kritikus útszakaszokra, időszakokra és árukra.

Megalapozottan javasolható továbbá, hogy az egyes vizsgálati eredményeket nyílt adatbázisokban, esetleg több nyelven is publikálják és folyamatosan frissítsék.

A közúti veszélyesáru-szállítás súlyos baleseteinek kivizsgálása során keletkezett dokumentumok tanulmányozásával az a következtetés vonható le, hogy az eseményeket előidéző okok jól meghatározhatók és megkülönböztethetők. A vizsgált időszak szállítási eseményeinek közel kétharmada járművezetői hiba következménye, amely jól lehatárolható a technikai meghibásodástól és az ADR szabályainak be nem tartásától. A bekövetkezett események csupán mintegy negyede volt műszaki meghibásodás eredménye. Az ADR szabályainak be nem tartása a vizsgált eseményeknél csekély mértékben volt azonosítható kiváltó okként.

A balesetek bekövetkezési helyszíneinek vizsgálatával megállapítható, hogy jól meghatározhatók azok az útszakaszok, ahol egy súlyos esemény bekövetkezésének ismétlődésére számítani kell. A vizsgálati eredmények alapján beazonosíthatók továbbá a súlyos események kezelésében leginkább érintett vármegyei katasztrófavédelmi igazgatóságok, valamint az időszakok, ahol a súlyos balesetek bekövetkezésének ismétlődésére számítani lehet.

A vizsgált események közel felében gyúlékony folyékony anyag volt érintett, a kiszabadult veszélyesáru-mennyiség háromnegyede vízi környezetre veszélyes anyag.

Indokolt és célszerű a közúti veszélyesáru-szállításra vonatkozó kockázatelemzés elvégzése olyan útvonalak vonatkozásában, ahol a lakosság, különleges létesítmények (alagút, híd, kritikus infrastruktúra, műemlék stb.) vagy környezetvédelmi területek veszélyeztetése fennáll.

¹⁶ Batarlienė 2008.

¹⁷ Tóth 2023.

¹⁸ Berek-Földi-Padányi 2020.

Felhasznált irodalom

- BATARLIENÉ, Nijolè (2008): Dangerous Goods Transportation: New Technologies and Reducing of the Accidents. *Journal of KONBiN*, 5(8), 211–222. Online: <https://doi.org/10.2478/v10040-008-0114-7>
- BEREK, Tamás – FÖLDI, László – PADÁNYI, József (2020): The Structure and Main Elements of Disaster Management System of the Hungarian Defence Forces, with Special Regard to the Development of International Cooperation. *AARMS*, (19), 17–26. Online: <https://doi.org/10.32565/aarms.2020.1.2>
- BUTTON, Nancy P. – REILLY, Park M. (2000): Uncertainty in Incident Rates for Trucks Carrying Dangerous Goods. *Accident Analysis & Prevention*, 32(6), 797–804. Online: [https://doi.org/10.1016/S0001-4575\(00\)00003-8](https://doi.org/10.1016/S0001-4575(00)00003-8)
- CONCA, Andrea – RIDELLA, Chiara – SAPORI, Enrico (2016): A Risk Assessment for Road Transportation of Dangerous Goods: A Routing Solution. *Transportation Research Procedia*, 14, 2890–2899. Online: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.407>
- Eurostat (2024a): *Road Freight Transport of Dangerous goods*. Online: <https://bit.ly/4f24Ypo>
- Eurostat (2024b): *Chemicals Production and Consumption Statistics*. Online: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Chemicals_production_and_consumption_statistics
- Eurostat (2024c): *Production and International Trade in Chemicals*. Online: <https://bit.ly/4irYNY2>
- Eurostat (2024d): *Data Browser. Annual Road Freight Transport of Dangerous Goods, by Type of Dangerous Goods and Broken Down by Activity*. Online: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/>
- HORVÁTH, Hermina – KÁTAI-URBÁN, Lajos – VASS, Gyula (2021): Transportation of Flammable Dangerous Goods in Hungary. *Védelem Tudomány*, 6(4), 110–125. Online: www.vedelemtudomany.hu/articles/VI/4/06-horvath-kataiurban-vass.pdf
- Központi Statisztikai Hivatal (2024): *Az áruszállítási teljesítmény alakulása szállítási módok szerint*. Online: <https://ksh.hu/s/helyzetkep-2022/#/kiadvany/szallitas/az-aruszallitasi-teljesitmeny-alakulasa-szallitasi-modok-szerint>
- MUHORAY Árpád (2016): *Katasztrófamegelőzés I*. Budapest: Nemzeti Közszerzői Egyetem.
- OHTANI, Hideo – KOBAYASHI, Masayuki (2005): Statistical Analysis of Dangerous Goods Accidents in Japan. *Safety Science*, 43(5–6), 287–297. Online: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2005.06.003>
- TÓTH, Levente (2023): The Evolution of Public Surveillance Systems in Europe. *Magyar Rendészet*, 23(1), 191–204. Online: <https://doi.org/10.32577/mr.2023.1.12>
- UNECE (2024): *About the ADR*. Online: www.unece.org/trans/danger/publi/adr/adr_e.html
- United Nations (2024): 3 – *Ensure Healthy Lives and Promote Well-being for All at All Ages*. Online: https://sdgs.un.org/goals/goal3#targets_and_indicators

Jogi források

- 2008/68/EK irányelv a veszélyes áruk szárazföldi szállításáról
- 2012/18/EU irányelv a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek veszélyeinek kezeléséről
2011. évi CXXVIII. törvény a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról
- 312/2011. (XII. 23.) Korm. rendelet a hivatásos katasztrófavédelmi szerv eljárásai során a veszélyes áruk vasúti és belvízi szállításának ellenőrzésére és a bírság kivetésére vonatkozó egységes eljárás szabályairól, továbbá az egyes szabálytalanságokért kiszabható bírságok összegéről, valamint a bírságolással összefüggő hatósági feladatok általános szabályairól

- 313/2014. (XII. 12.) Korm. rendelet a veszélyes áru légi szállításával kapcsolatos katasztrófavédelmi hatósági ellenőrzésről és a bírság kivetésének szabályairól
- 508/2020. (XI. 18.) Korm. rendelet az 1957. szeptember 30-án létrejött, a Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Európai Megállapodás (ADR) módosításáról szóló Jegyzőkönyv és a Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Megállapodás egységes szerkezetben történő kihirdetéséről
- 284/2023. (VI. 30.) Korm. rendelet a Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Megállapodás „A” és „B” Melléklete kihirdetéséről, valamint a belföldi alkalmazásának egyes kérdéseiről
- 39/2021. (VII. 30.) ITM rendelet Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Megállapodás (ADR) „A” és „B” Mellékletének belföldi alkalmazásáról
- Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Európai Megállapodás (ADR)

Tartalom

BALLA TIBOR, PADÁNYI JÓZSEF: Műszaki kiválóságok: Vitéz Czetz Alfonz tábornok	5
ISTVÁN EMBER: Effectivity Experiment of PA-12 Shaped Charge Liners	15
GÁVAY GYÖRGY: Honvédségi járművek kezelőszerveinek pótlása, módosítása 3D-nyomatási technológia alkalmazásával	25
KÁTAI-URBÁN MAXIM, VARGA FERENC, VASS GYULA: Logisztikai raktárak oltóvízszennyezés-megelőzési felkészültségének ellenőrzése – módszertani javaslat	39
GABRIELLA LÁSZLÓ: The Influence of Polystyrene Thermal Insulation on Fire Load	53
GYÖRKI GÁBOR: Utókezelési technológiák és lehetséges alkalmazhatóságuk egyedi szennyvíztisztító kísberendezésekben	63
HÓZER BENJÁMIN, PÁNTYA PÉTER: A légzésvédelmi eszközök fejlődésének történeti áttekintése a magyar tűzoltóság és a légoltalom szolgálatában a 19. és 20. század fordulóján – 2. rész, a szűrő típusúak	77
DARUKA NORBERT, DÉNES KÁLMÁN, KOVÁCS ZOLTÁN, VÉG RÓBERT, EMBER ISTVÁN: Az additív gyártás- technológia térnyerésének munkavédelmi kérdései	91
LAJTOS LUCA, VÉG RÓBERT: Litofán technológia 3D-nyomatással történő alkalmazása és annak lehetséges katonai vonatkoztatásai	107
JASZTRAB PÉTER JÁNOS: Az elsötétítés biztonsági aspektusai Magyarországon	121
ALMÁSI CSABA, CIMER ZSOLT, KÁTAI-URBÁN LAJOS: Közúti veszélyesáru-szállítási káresemények vizsgálata	153