



MŰSZAKI KATONAI KÖZLÖNY

Kiemelt közlemények

HAJÓS BENCE: *Paradigmaváltás a közúti hídtervezésben a hasznos járműterhek vonatkozásában*

BALLA TIBOR, PADÁNYI JÓZSEF: *Műszaki kiválóságok: Császár András ezredes*

JASZTRAB PÉTER JÁNOS: *Az elsötétítés biztonsági aspektusai Magyarországon – 1. rész: Alapvetések, teóriák a második világháborúban és az azt megelőző években*

34. évf. (2024)
2. szám

ISSN 2063-4986 (elektronikus)



LUDOVIKA
EGYETEMI KIADÓ

Műszaki Katonai Közlöny

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

ISSN 2063-4986 (elektronikus)

Főszerkesztő

Kovács Zoltán

Szerkesztőbizottság elnöke

Padányi József

Szerkesztőbizottság

Cibulová Klára

Daruka Norbert

Hanka László

Hornyacsek Júlia

Horváth Tibor

Kovács Tibor

Kovács Zoltán

Kuti Rajmund

Lőrincz Árpád

Pavel Manas

Nagy Rudolf

Tóth Rudolf

Szerkesztőség címe

Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Művelési Támogató Tanszék

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

Levelezési cím: 1581 Budapest, Pf. 15

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

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

Kiadó

Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Ludovika Egyetemi Kiadó

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

1083 Budapest, Ludovika tér 2.

A kiadásért felel: Deli Gergely rektor

Olvasószerkesztők: Bujdosó Hajnalka, Nagy Judit, Resofszi Ágnes

Tördelőszerkesztő: Fehér Angéla



Tartalom

Hajós Bence Paradigmaváltás a közúti hídtervezésben a hasznos járműterhek vonatkozásában – Katonai alapterhek helyett polgári járműterhek bevezetéséről	5
Balla Tibor, Padányi József Műszaki kiválóságok: Császár András ezredes	17
Jasztrab Péter János Az elsötétítés biztonsági aspektusai Magyarországon – 1. rész: Alapvetések, teóriák a második világháborúban és az azt megelőző években.	29
Ember István, Dénes Kálmán, Daruka Norbert, Vég Róbert, Kovács Zoltán Az additív gyártástechnológia alkalmazásának lehetőségei és korlátai szikramentes kéziszerszámok készítése során	55
Kovács Andrea, Elek Barbara Sugárzó hőnek kitett fák gyulladásának veszélyei és az égéskésleltetés lehetőségei . . .	73
Kátai-Urbán Maxim, Sárosi György, Vass Gyula Veszélyesanyag-raktározás biztonságsszervezése – külföldi jó gyakorlat alapján	87
Rajmund Kuti, Géza Zólyomi, Csenge Papp Development Directions of Fire-Fighting Equipment Using Aircraft Engines Abroad.	103
Végvári Zsolt Optikai elemek 3D-nyomtatással történő előállításának lehetőségei.	115
Hózer Benjámin, Pántya Péter A magyar tűzoltósági és légoltalmi légzészédelmi eszközök történeti áttekintése a 19. és a 20. század fordulóján – 1. rész, a szűrőjellegűek	127
Hegedűs Ernő, Gávay György, Sebők István, Tenczel Martin Bence Topológiai optimalizálás, generatív tervezés és a 3D-nyomtatás – Az additív gyártástechnológia ipari alkalmazhatóságának vizsgálata	141
Emese Kutassy Comparison of UAV Orthophoto and Ground Survey at a Flood Protection Embankment.	155
Móritz Sándor, Dobor József A mezőgazdaságban hazánkban alkalmazott veszélyes tulajdonságú vegyi anyagok lehetséges kockázatainak összefoglalása	169

Hajós Bence¹ 

Paradigmaváltás a közúti hídtervezésben a hasznos járműterhek vonatkozásában Katonai alapterhek helyett polgári járműterhek bevezetéséről

Paradigm Shift in Road Bridge Design for Traffic Loads On the Introduction of Civil Traffic Load Instead of Military Loads

A közúti hidak tervezésének teherbírási követelményszintjét kezdetben a katonai közlekedési igények határozták meg. Az első magyar hídszabályzatban megjelent gőzeketeher a kor polgári igényét tükrözte. 1950-től a méretezés alapja a 60 tonnás tank mint katonai jármű lett. Májig a katonai igények érvényesek a hídszabályzatban. A most készülő új előírás-tervezetben Eurocode-alapú polgáriteher-igény található. Ezért az előírás megjelenése előtt ellenőrizni kell a javasolt terheket katonai szempontból.

Kulcsszavak: híd, hídszabályzat, teherbírás, méretezés, Eurocode

Initially, the design load requirements for road bridges were determined by military transport needs. The steam-tractor load, which appeared in the first Hungarian bridge code, reflected the civilian needs of the time. From 1950 onwards, the design was based on the 60-tonne tank as a military vehicle. To this day, the military requirements still apply in the bridge regulations. The new draft of the Hungarian bridge code now being prepared includes a Eurocode-based civil load requirement. Therefore, the proposed loads should be checked from a military point of view before the publication of the new design code of the road bridges.

Keywords: bridge, bridge code, load capacity, static calculation, Eurocode

¹ Hídszakértő, Első Lánchíd Bt., Év hidásza 2012, e-mail: elsolanchild@elsolanchild.hu

Bevezetés

A közúti hídtervezés egyik legsarkalatosabb kiinduló alapadata a létesítendő híd teherbírása. Hazánkban a legelső, közúti hidak tervezésére vonatkozó előírás 1910-ben jelent meg.² Természetesen ennek megjelenése előtt is voltak előírások a hidak teherbírására vonatkozóan, azonban egységes, országos alkalmazás ezzel a jogszabályként megjelenő közúti hídszabályzattal kezdődött.

Az 1910 előtti időszak hasznos teherszintjét a katonai szállítási igények (társzekerek, ágyúk) határozták meg. 1910-től, mint látni fogjuk, 1950-ig a méretezés alapja a polgári közlekedési igényekből származó gőzeke volt mint mértékadó, legnehezebb járműteher. A katonai járművek tömege a motorizációval rohamos növekedést mutatott, mégis, ezek a közúti hídszabályzatban érdekes módon az igényhez képest jelentős késéssel, csak a második világháború után jelentek meg.

Az első hídszabályzat hasznos járműterhelése a 20 tonna össztömegű gőzeke volt. Vizsgálандó egyenletesen megoszló teherként az elsőrendű hidakra a szabályrendelet 400 kg/m² terhet írt elő, ami nem volt egyidejű a gőzekével. Korábban a hidak méretezése csak egyenletesen megoszló teherre történt, amelynek mértéke bizonyosan katonai igényekre vezethető vissza. Mint a legújabb kutatásokból ismeretes, a Széchenyi lánchidat 1839-ben 62 font/négyzetláb, azaz 302,7 kg/m² egyenletesen megoszló terhelésre méretezte³ William Tierney Clark, ami akkor kifejezetten nagy teherbírású tartalékot eredményezett, hiszen a később mértékadó gőzekék jellemző össztömege 1880-ban 8 tonna, 1890-ben 16,8 tonna volt.⁴

Az első szabályzatban is szerepelt már dinamikus tényező, amivel a járműterheket kellett felszorozni, de igen egyszerűen, a támaszköztől függetlenül ennek nagyságát az előírás vas- és acélszerkezet esetében $\mu = 1,4$ tényezővel, vasbeton szerkezet esetében pedig $\mu = 1,3$ tényezővel rögzítette.

1935-ben jelent meg a második közúti hídszabályzat „ideiglenes” jelzővel.⁵ A hasznos terheket alapvetően érintetlenül hagyva, a budapesti Duna-hidakra vonatkozóan megemelték az egyenletesen megoszló teher értékét 400-ról 450 kg/m²-re, az óbudai és a Boráros téri új Duna-hidak tervezési tapasztalataira tekintettel.⁶ Ekkor vezették be a támaszköztől függő dinamikus tényezőt:

$$\mu = 1,20 + \frac{10}{30 + l}$$

A következő, sorrendben harmadik közúti hídszabályzat, szintén „ideiglenes” jelzővel, már a második világháború után, 1950-ben jelent meg.⁷ Ebben az előírásban megjelent a katonai

² 33.034/1910 K. M. rendelet; BALÁZS–KOVÁCS–TÓTH 1991.

³ CLARK 2022: 22.

⁴ DOMANOVSKY et al. 2009: 140.

⁵ KHSZ 1935.

⁶ ZSÁMBOKI 2007: 122.

⁷ KHSZ 1950.

közlekedési igényeket megtestesítő 60 tonna össztömegű hernyótalpas traktor, e szóhasználatnál szemérmesen kerülve a „tank” szót. Ugyanekkor ismét csökkentették a dinamikus tényező értékét. Az ekkor bevezetett képlet a jelenleg hatályos előírásig változatlanul érvényes:

$$\mu = 1,05 + \frac{5}{5 + l}$$

Ezzel a katonai teherbírasi igény lett ismét a meghatározó a közúti hidak méretezésében, egészen napjainkig. A polgári szállítás ekkor mértékadó karakterisztikus értéke ettől a teher-szinttől messze elmaradt. A polgári közúti szállításban mértékadó igényeket jól mutatja, hogy a második világháború utáni első budapesti Duna-híd, a Kossuth híd 16 tonnás ideális járműre és 300 kg/m² megoszló terhelésre épült (1946), ezzel kielégítve az újjáépítéshez kapcsolódó szállítási igényeket. A következő Duna-hidak (Szabadság híd – 1946, Margit híd – 1948, Lánchíd – 1949) az 1935. évi előírások szerint épültek újjá.⁸

A polgári teherbírasi igények változását jól tükrözi a közúti hidak megfelelőségének értékelése. Az 1973-ban készült követelményrendszer rövid távú célként csak a B-jelű, azaz 40 tonnás teherbírasi célt fogalmazta meg a főúti hidakra, s még 1989-ben a kisebb forgalmú utak esetében megengedett ennél kisebb célértéket.⁹

A katonai igényből származó méretezési alapterher megállapításainak körülményei a szakirodalomban nem ismeretesek, amit magyaráz e téma kiemelt titkosítása. Az 1950. évi hídszabályzat és az azt követő előírások legnagyobb közúti járműterhei egymással szoros rokonságot mutatnak a ma is hatályos közúti hídtervezési előírásig, az Útügyi Műszaki Előírásig¹⁰ (ÚME).

Hazánk az európai uniós csatlakozással kötelezettséget vállalt az egységes európai méretezési szabványcsalád, az Eurocode bevezetésére. Az elmúlt időszakban ennek effektív bevezetését a közúti hídsszakma kétszer elkerülte.¹¹ A többéves összetett előkészítő munka gyümölcseként új, ÚME-ként megjelenő közúti hídtervezési előírás megjelenése előtt vagyunk, ami azonban ténylegesen tartalmazni fogja az Eurocode szerinti részletes előírásokat, természetesen beleértve a hasznos járműterheket is. Az Eurocode hasznos teher-sémáját azonban nyugat-európai közúti forgalmi mérésekből statisztikai alapon származtatták, tehát az Eurocode alapterhei polgári eredetűek.

A hídtervezés alapjául szolgáló járműterhek katonai vagy polgári eredete a katonai és polgári közúti közlekedés fejlődésdinamikájának eredménye. Mint láttuk, 1910 és 1950 között szintén polgári eredetű alapterhet használtunk a hidak méretezéséhez. E paradigmaváltás természetes része a változó igények kiszolgálásának, azonban kiemelten fontos a változás folyamatának megismerése és minden körülmény megfelelő súlyú mérlegelése, s mivel ugyan közúti infrastruktúrát kell használnjon a polgári és a katonai közlekedés, megkerülhetetlen a katonai szempontok ellenőrzése, szükség szerint pedig érvényesítése.

⁸ PÁLL 2007: 137–158.

⁹ APÁTHY–TÓTH 1990.

¹⁰ e-UT 07.01.12: 2011.

¹¹ KOLOZSI 2009.

Hasznos járműterhek 1950-től napjainkig

Az 1950. évi előírás legnagyobb járműterhe a 60 tonnás hernyótalpas traktor volt. A lánctalp felfekvésének hossza 4,60 m volt. Ezzel egyidejű megoszló terhelést nem kellett alkalmazni, de a hasznos teher biztonsági tényezője igen magas, 1,5 volt.

Az 1956. évi szabályzatban a legnagyobb teher alapértéke maradt 60 tonna, de ezt már nem lánctalpas járműként, hanem háromtengelyes teherként kellett figyelembe venni 20–20–20 tonna tengelyterheléssel és 1,50–1,50 m tengelytávolsággal.¹² Továbbá e járművel egyidejű megoszló terhelést is előírtak 300 kg/m² értékkel. Bizonyára nem véletlen, hogy a 60 tonnás járműteher teljesen azonos az ellenséges, nyugatnémet DIN 1072 szerinti teherrel. Azonban a katonai cél ekkor bizonyosan már az ennél nagyobb, csak a következő szabályzatban megjelenő 80 tonnás teher bevezetése volt. Ennek érdekében az 1956. évi szabályzat a teherbírás igazolásánál az 1,4 értékű biztonsági tényező mellett előírt egy 1,1 értékű rendeltetési tényezőt, amivel növelni kellett a teljes hatásoldalt, az állandó és hasznos terheket is. Ennek köszönhető, hogy a későbbi 80 tonnás járműteher nem okozott érdemi teherbírási igénytöbbletet.¹³

Az 1950. és 1956. évi szabályzat szerinti terhek eredete, meghatározásának módja, indokai további kutatás céljai lehetnek. 1956-ban lényegében a ma is használatos 80 tonnás teher bevezetése volt a katonai cél, amit a hidegháborús titkolózás jegyében igyekeztek az ellenséges szemek elől elrejtteni, s a DIN-nel azonos 60 tonnásnak „mutatni”.¹⁴

A következő, azaz 1967. évi hídszabályzatban jelent meg nominálisan a 80 tonnás jármű mint alapteher.¹⁵ Ennek bevezetéséről is csak néhány egészen szűkszavú irodalom ismeretes.¹⁶ A legtöbbet a teherszint eredetéről Apáthy Árpád cikkéből¹⁷ tudhatunk meg. Írásában kijelenti: „a KGST ajánlást fogadott el a nemzetközi útvonalakon lévő hidak 80 Mp súlyú, 4 tengelyes járműre, illetve 30 Mp súlyú járművekből álló 10 m követési távolsággal összeállított gépkocsi oszlopra való méretezésre”. A KGST szerinti követelményeket az 1956. évi szabályzat ténylegesen kielégítette, de névlegesen azonban nem. A névleges megfelelés teljesült a 80 tonnás alapteherrel és az azzal egyidejű 400 kg/m² megoszló teher bevezetésével.

Ezzel elérkeztünk a ma is hatályos teherszinthez, ugyanis az elmúlt bő évszázadban csak kisebb finomhangolások történtek a járműteher vonatkozásában. Ilyen volt a 80 tonnás jármű alatti terület kivonása az egyidejű egyenletesen megoszló terhelésből, az egyidejű megoszló terhelés szintjének differenciálása a kocsi pályá szélességének függvényében és a 80 tonnás jármű hídszegély melletti elhelyezésének részletszabályozása.

Eddig mindegyik szabályzat esetében csak a legnagyobb terhelési osztályt vizsgáltuk. Az 1950. évi szabályzat ötféle, az 1956. évi négyféle, az 1967. évi háromféle terhelési osztályt

¹² KHSZ 1956.

¹³ TRÄGER 1968.

¹⁴ Dr. Träger Herbert személyes visszaemlékezése, a szerzőnek adott szóbeli tájékoztatása alapján.

¹⁵ KHSZ 1967.

¹⁶ APÁTHY 1968a.

¹⁷ APÁTHY 1968b.

adott meg. Ez a választék már az ÚME-k korszakában a legutóbbi változtatásnál¹⁸ jogilag kettőre, gyakorlatilag azonban néhány marginális esetet nem számítva egyre, mégpedig a legnagyobb, A-jelű 80 tonnásra szűkölt.

Az üzemeltetési tapasztalatok alapján kijelenthetjük, hogy az A- és B-jelű (80 vagy 40 tonnás) teherre méretezett hidak a mindennapi polgári közlekedési céloknak megfelelnek. A katonai közlekedési igények biztosításához A-jelű teherszint szükséges. Az elmúlt évtizedekben rohamosan növekvő, külön engedélyezéshez kötött túlsúlyos közúti szállítás (40 tonna felett, 100–150 tonna jellemző, ritkábban 200 tonna feletti össztömeggel) igényeinek külön ellenőrzéssel és megfontolásokkal, esetleg járulékos intézkedésekkel az A-jelű hidak jellemzően megfeleltethetők. Ez annak köszönhető, hogy ezen túlsúlyos járművek jellemzően nagyobb hosszúságban (30–50–100 m) közel egyenletesen elosztják a jármű terhelését.

A hidak szükséges teherbírási osztályának megfelelőségértékelésekor figyelembe kell venni, hogy kisebb támaszközök esetén egyes terhelési osztályok ekvivalensnek minősülnek (például kis nyílás esetén a gőzeke 15 tonnás tengelye biztosítja a B-jelű teherszintet).

Az Eurocode eddigi hazai alkalmazása

Az Európai Unióhoz való csatlakozással (2004. január 1.) kötelezettséget vállaltunk az Eurocode bevezetésére és az ezzel ellentétes hazai nemzeti szabványok kivezetésére. Ez meg is történt. A közúti hidak forgalmi terheit tartalmazó első Eurocode Magyarországon 2000-ben lépett hatályba előszabványként (MSZ ENV 1991-3:2000), ezt követte 2004-ben a szabvány angol nyelvű megjelenése (MSZ EN 1991-2:2004), majd két évvel később a magyar nyelvű változat (MSZ EN 1991-2:2006), ami egy módosítással (2010) és két helyesbitéssel (2012, 2019) jelenleg is hatályos előírásunk.

Így immáron két évtizede az Eurocode hatályos és érvényes Magyarországon, mégis alig készült néhány híd ennek a terheire méretezve. Hogyan lehetséges ez? Erre a magyar hídásztársadalomnak lehetőséget adott az ÚME-k sajátos jogállása.¹⁹ Az ÚME-k nem nemzeti szabványok, hanem a közútépítési ágazat saját műszaki normája.²⁰ Így ezek az Eurocode-hoz képest „alacsonyabb” rangú „műszaki normák”, amelyek használhatóak az Eurocode alternatívájaként.²¹

Az Eurocode egységes hasznos tehermodell használatát írja elő, de lehetőséget ad nemzeti hatáskörben a teherérték módosítására α -tényezőkkel (terhelési osztályba sorolási tényezők) való szorzás útján. Külön nemzeti melléklet hiányában ezek értéke: 1.

A 2006-ban megjelent Eurocode háromféle terhelési osztályt adott meg, a legnagyobb teher az Eurocode alapjánálásának megfelelő volt (csupa 1-es tényezők). Évezredünk első évtizedében sok publikált tanulmány, vizsgálat és próbaszámítás készült elemezve az új teherszintek

¹⁸ e-UT 07.01.12: 2011.

¹⁹ KOLOZSI et al 2001.

²⁰ HAJÓS 2022.

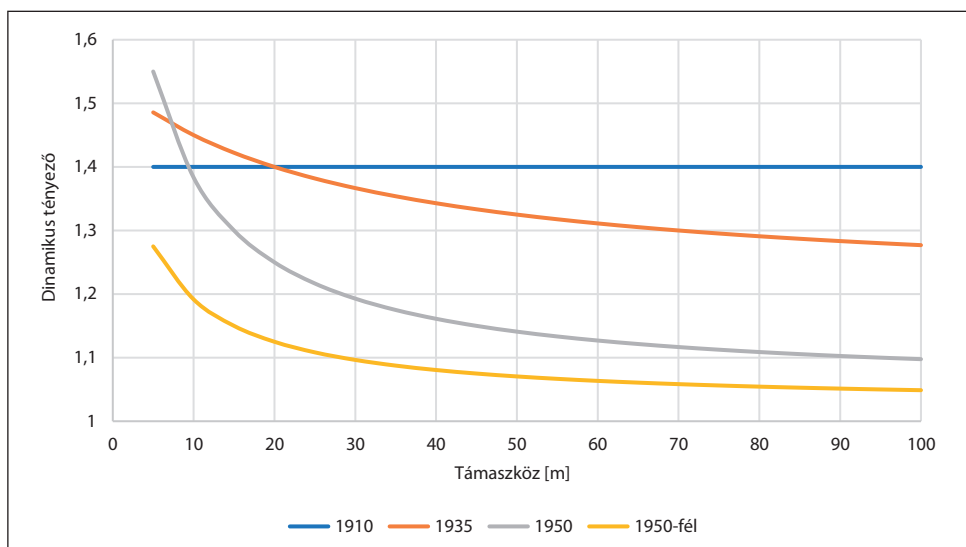
²¹ HAJÓS 2023.

hatását.²² E hosszas kutatás gyümölcse a nemzeti mellékletünk 2010. évi módosítása. Ekkor a legnagyobb terhelési osztály tényezőit úgy határozták meg, hogy – természetesen a biztonság javára, azaz felülről közelítve – minél jobban az ÚME-szerinti A-jelű jármű terhelésével azonos hatást eredményezzen. Ezzel az Eurocode teherszintjét kvázi „A-jelűsítette” a hidászszakma, megtartva az A-jelű terhet, s szakmai konszenzusként elfogadva azt, hogy:

- annak nagysága hosszú távon, a várható fejlődésre is tekintettel megfelelő;
- annak csökkentése vagy növelése nem indokolt.

Az Eurocode rendszerében alapesetben nincs a hasznos járműteherhez rendelt dinamikus tényező, kivéve egyes lokális vizsgálatok eseteit. Így a járműterhek tengelyterheléseit úgy kell értelmezni, hogy azok már tartalmazzák a dinamikus többletet, amit eddig a hazai gyakorlatban külön tényezővel való szorzás útján adtunk hozzá a járműterhekhez.

Az 1. ábrában 0–100 m támaszköz tartományra szemléletes összehasonlításként megadjuk a magyar előírások szerinti dinamikus tényezőket az egyes szabályzatok alapján. Az Eurocode bevezetésével ez a szorzótényező tehát megszűnik, így teherbírás-felülvizsgálat esetén, egyedi különleges terhek ellenőrzésekor majd erre is tekintettel kell lenni.



1. ábra: A dinamikus tényező a támaszköz függvényében az egyes hídszabályzatokban

Forrás: a szerző szerkesztése

²² FARKAS–KOVÁCS–SZALAI 2000, 2010a, 2010b.

Az Eurocode-alapú új előírás-tervezet szerinti terhekről

Több mint három éve kezdődött a közúti hidak tervezésére vonatkozó ÚME-kötetek közös megújítása. A 2. sz. albizottság feladata az új *Erőtani számítás* című kötet elkészítése, átvéve az Eurocode tehermodelljét is. A készülő, már célegyenesben lévő előírás-tervezet tartalmazza több Eurocode-kötet átvett követelményeit, kisebb kiegészítésekkel és témánk szempontjából lényeges módosító tényezőkkel, köztük az α -tényezőkkel. A bizottságot Horváth Adrián vezeti, bizottsági tagok: Csikós Csaba, dr. Kövesdi Balázs, Mayer Zsolt, dr. Porubszky Tamás, Rác Balázs és dr. Szabó Gergely.²³

A bizottság 2023. tavaszi tervezetváltozatában a német és osztrák Eurocode nemzeti mellékletet alapul véve a hatályos magyar előíráshoz képest igen jelentős emelésre tett javaslatot, a hasznos terhet a legnagyobb terhelési osztályban az Eurocode-alapérték fölé emelve. E javaslat hatására az Unitef'83 Zrt. hidász-mérnökei alapos kutatást készítettek, bemutatva az európai országok hatályos előírásait,²⁴ ami hasznos kiindulási alap a teherszint mértékének véleményezéséhez.

Az előírás-tervezetben szereplő tényezők az egyes tervezetváltozatokban eddig többször változtak, így ezek kristályosodása még folyamatban van. Eddig csak két publikált tanulmány²⁵ jelent meg a teherszint felvételéhez javaslatokat megfogalmazva, ami messze nem tükrözi azt a szerteágazó előkészítő munkát, ami az előírás-tervezet műhelymunkájának természetes része. Ezek közreadása, megosztása jelentékenyen segítené a legjobb igyekezettel elérhető, optimális új előírás megalkotását.

Katonai igények és ezek érvényesítése

A katonai szempontok a hídépítés több területét is érintették, érintik, s minden időben befolyásolták a közúti hídépítést. Régi évszázadok majd valamennyi híres hídja kapcsolódik szorosan egy-egy hadjáratához.

Az igények első szintje, hogy legyen-e híd, és pontosan hol legyen. A teherbírás katonai igények mellett a könnyű és gyors robbantáshoz szükséges aknák és szerelvények építése az 1880-as évektől 1965-ig a hidak létesítéséhez hozzátartozott. Eleinte csak a nagyobb, jellemzően elsősorban Duna- és Tisza-hidaknál írta elő ezt a hadügyminisztérium, ami később a kisebb (25–20 m) nyílású hidak esetében is általánossá vált.²⁶

²³ KOLOZSI 2022.

²⁴ BARTUS–KÖVÁRI–NÉMETH 2023.

²⁵ BARTUS–KÖVÁRI–NÉMETH 2023; HAJÓS 2023.

²⁶ DOMANOVSKY et al. 2009: 196.

A második világháború utáni évtizedekben a honvédelmi igények miatt a hídépítés területén is nehezítette a napi ügyvitelt a titkos ügykezelés, azaz a TÜK.²⁷ 1950-től 1979-ig „szigorúan titkos” minősítés alá tartozott a hidak csoportos nyilvántartása, egyes nagyobb hidak tervei, törzskönyvei és különös szigorral a hidak teherbírása. A TÜK sok nehézséget okozott, s a mulasztásokért rendkívüli büntetés járt.²⁸

A közúti hidak teherbírására vonatkozó katonai igények, mint láttuk, 1950-től határozzák meg a tervezési előírásokat. A méretezés alapja némi egyszerűsítéssel a 80 tonnás harckocsi. Ez a korszak katonai doktrínájának megfelelően szovjet előírásnak tekinthető, amelyet az egész KGST területén alkalmaztak. Megjegyzendő, hogy a legnehezebb katonai járművek terhelése ennél kisebb volt és ez mai napig érvényes. A méretezési tehernek azonban nem a ténylegesen közlekedő járműveket kell tükröznie, hanem azok előfordulási valószínűségének megfelelő képzett karakterisztikus értékét, ami megfelel a méretezéselmélet szerinti kockázati optimumnak.

A katonai igényekre különleges példa a vásárosnaményi Tisza-híd 1948. évi tervezése, ugyanis a főtartók vonatkozásában a két évvel későbbi szabályzati terhet is figyelembe vették.²⁹ Ezen „túltervezésnek” eredménye, hogy 1956-ban a szovjet hadsereg ezen a tiszai átkelőn tudott bevonulni Magyarországra, ugyanis ekkor Záhonyban csak a vasúti híd állt.³⁰

Évezredünkben folyamatosan növekszik a túlméretes közúti járműszállítási volumen, már rendelkezésre állnak ezen óriás tömegek mozgatásához szükséges vontatógépek. Ma már tipikusnak tekinthetők a 100 tonna és e feletti össztömegű járműszerelvények, 12–14 vagy több tengellyel. A közúti szállítójárművek kapacitásának látványos fejlődése megjelent a katonai közlekedésben is, így a katonai járművek nemcsak saját „lábukon” közlekedhetnek, hanem nehézgépszállító járműszerelvényre helyezve. Ezt jól tükrözi a STANAG 2021-es NATO-szabvány³¹ is, amely a meglévő hidak katonai terhelési osztályba (MLC = Military Load Classification) sorolására ad útmutatást.

A hidak létesítéséhez kapcsolódóan a katonai szerepvállalásban is megfigyelhető egy tendencia. A második világháború után mind a szabályozásban, mind az új hidak létesítésében hangsúlyos szerepet kaptak a honvédelmi szempontok. Az 1950. és 1956. évi közúti és az 1951. évi vasúti hídszabályzat előkészítésében közreműködött dr. Feimer László ezredes (1896–1954),³² műszaki egyetemi magántanár, a Honvédelmi Minisztérium megbízottja.³³ A közúti hidak építését felügyelő szakminisztériumi Hídosztályon külön összekötő személy tartotta a kapcsolatot a társszervekkel, kiemelten a honvédelemmel,³⁴ már a híd tervezésének igényfelmérésekor rögzítve a teherbírasi osztályt.

²⁷ CSERÉNYI-ZSITNYÁNYI 2012.

²⁸ TÓTH–TRÄGER–VÉRTES 2009: 116–117.

²⁹ HAJÓS 2008: 89.

³⁰ A záhonyi közúti Tisza-hídat csak 1962-re építette újjá (egyoldalúan és titokban) a Szovjetunió, amiről a magyar közúti szervek csak utólag értesültek.

³¹ STANAG 2021.

³² BALLA–PADÁNYI 2021.

³³ H. 1. sz. 1951.

³⁴ Dr. Tóth Ernő nyugalmazott hídosztályvezető szóbeli tájékoztatása szerint: érintett társszervek: honvédelem, rendőrség, MÁV, pártsszervek. A Hídosztályon hosszú időn keresztül Bacsoni István főmérnök volt az összekötő, aki elsősorban telefonon tartva a kapcsolatot a társszervekkel, véglegesítette a híd szükséges teherbírását.

A katonai igények és szerepvállalás jelentősége fokozatosan háttérbe szorult a közúti hidak létesítésében. Az 1967. évi hídszabályzattól kezdve már nem volt katonai hidászszakértő az előírást készítő munkacsoportokban. Az A-jelű hídteher kvázi általánossá válásával a hidak teherbírásának katonai igényei is elhalványodtak.

Változatlanul minden hatósági engedélyezési eljárásban ma is megvan a katonai érdekvédelem lehetősége, ugyanis szakhatóságként minden eljárásban közreműködő fél a Honvédelmi Minisztérium, s feladata „annak elbírálása, hogy a Magyar Honvédség nemzeti és szövetségi védelmi feladatai a kérelemben foglaltak szerinti esetben vagy további feltételek mellett biztosíthatók-e” – ahogyan fogalmaz az 531/2017. (XII.29.) Korm. rendelet.

A katonai igények egyes esetekben különös gondosságot követelnek meg, idetartoznak a nagyobb határhidak (Duna, Tisza, Dráva). Ekkor a műtárgy országhatáron való elhelyezkedése több szempontból is egyedi körülményeket ad: határőrizeti kérdések, két illetékes ország szerveinek egyeztetése, közös hídtulajdon, hídkezelés, polgári közlekedési igények, vámkezelés s a határokon sajnos mindenhol jellemző torlódások, hídon parkoltatott járművek stb.

Javaslat az új teherszintek katonai elemzésére

Az új közúti hídtervezési előírás készítése során, mint bemutattuk, a polgári teherbírás igényekből fakadóan jelentős teherszintemelés fog megjelenni a nagyobb terhelési osztályokban. Ehhez kapcsolódóan elengedhetetlen és szükséges annak katonai mérlegelése, hogy az elmúlt évtizedek tapasztalatai és a várható jövőbeli kilátások alapján szükséges-e a hidak katonai teherbírás igényeinek módosítása, avagy továbbra is kielégíti a katonai célokat a ma még hatályos A-jelű, 80 tonnás ideális teher.

Mint jeleztük, a készülő előírás-tervezet még részben képlékeny, de az eddig megismerhető szövegváltozatokban megjelent olyan teherbírás osztály is közúthálózati szempontból alárendeltebb esetekre, amelynek teherszintje szignifikánsan kisebb, mint a ma hatályos A-jelű teher. Így katonai szempontból ezen esetekben a hidak teherbírása kisebb lenne. Ha és amennyiben a katonai igényekre nem állapítható meg ezek megfelelése, akkor javasolt megtartani az elmúlt évtizedek tervezési gyakorlatát, ami számos szempontból egészséges, egyen-terherbírású hídhalozatot eredményezne a jövőben.³⁵

Jelen rövid tanulmányban az új polgári hídtervezési előírás teherszintjét elemeztük. Mivel ugyanazon hidakat használja a polgári és katonai közlekedés is, további részletes vizsgálatok elvégzése indokolt az új tervezési terhelési osztályok STANAG³⁶ szerinti besorolásához.

³⁵ HAJÓS 2023.

³⁶ STANAG 2021.

Összegzés

Az előírás-készítés nem könnyű műfaj. Máig találóak Apáthy Árpád szavai:

„Tisztában kell lenni azzal, hogy a kitűzött célokat csak megközelíteni lehet, elérni soha, ezért az új Szabályzat sem lehet tökéletes. Tisztában kell lenni azzal is, hogy a megszokotthoz való ragaszkodás következtében a kritika az újjal szemben néha élesebb, de a bírálatból mindig le lehet szűrni azt, ami a további munkában hasznosítható.”³⁷

A közúti hidak teherbírására vonatkozó katonai igény szint 1956 óta nem változott, míg a polgári igény fokozatosan növekedett. A kisebb teherbírású főúti hidakra 1973-ban még távlati célként fogalmazták meg a B-jelű, 40 tonnás teherbírású,³⁸ ma általánosnak mondható egészen kevés kivétellel számolva a katonai igényekkel azonos A-jelű, 80 tonnás teherbírású. Ezt a szintet 2010-ben még a polgári hidászszakma hosszú távon megfelelőnek ítélte, az Eurocode nemzeti mellékletének módosításával. Bő évtized után, a most készülő tervezet mégis ennek érdemi emelését fogalmazta meg.

A készülő új előírás eredménye lesz az Eurocode és az ÚME közötti két évtizedes párhuzamos megújulás azzal, hogy az ÚME egészen kevés eltéréssel azonos lesz a hatályos Eurocode előírásaival.

A hídtervezési ÚME a teljes hídépítésszakma előírása, egyaránt polgári és katonai célú és érintettségű, ezért ennek módosításakor elengedhetetlen és szükséges a katonai szempontok ellenőrzése és figyelembevétele, szükség szerint pedig érvényesítése. Ehhez a közös gondolkodáshoz és munkához kívánt tanulmányunk segítségét nyújtani, röviden ismertetve a teherszintek változásának hátterét.

Felhasznált irodalom

- APÁTHY Árpád (1968a): Az 1967. évi új Közúti Hídszabályzat. Ankét a Közlekedéstudományi Egyesületekben. *Mélyépítéstudományi Szemle*, 18(4), 169.
- APÁTHY Árpád (1968b): Alapelvek az új Közúti Hídszabályzat előírásainak kialakítása során. *Mélyépítéstudományi Szemle*, 18(11), 485–489. Online: https://hidak.hu/konyvek/apathy_1968_11.pdf
- APÁTHY Árpád – TÓTH Ernő (1990): A közúti hidak megfelelőségének értékelése. *Közlekedésépítés- és Mélyépítéstudományi Szemle*, 40(9), 321–326.
- BALÁZS György – KOVÁCS Károly – TÓTH Ernő (1991): Közúti vasbetonhidak tartóssága a hídszabályzatok tükrében. *Közlekedésépítés- és Mélyépítéstudományi Szemle*, 41(6), 205–211.
- BALLA Tibor – PADÁNYI József (2021): Műszaki kiválóságok: Feimer László. *Műszaki Katonai Közlöny*, 31(4), 35–44. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2021.4.3>
- BARTUS Róbert – KÖVÁRI Ákos Róbert – NÉMETH Gábor (2023): Észrevételek és javaslatok a készülő új e-UT 07.01.12 közúti hidak erőtanai számítása – Útügyi Műszaki Előíráshoz. *Útügyi Lapok*, 11(18), 1–19. Online: <https://doi.org/10.36246/UL.2023.2.01>

³⁷ APÁTHY 1968b: 489.

³⁸ APÁTHY–TÓTH 1990.

- CLARK, William Tierney (2022): *Első Lánchíd eredeti erőtani számítása – Detail Calculation of the Suspension Bridge between Pesth and Buda*. Lánchíd füzetek 32. Biri: Első Lánchíd Bt. Online: https://hidak.hu/konyvek/Lanchid_32_statika.pdf
- CSERÉNYI-ZSITNYÁNYI Ildikó (2012): A közlekedési szabotázs-elhárítás szervezete 1956–1962 között. *Betekintő*, 4, 1–18. Online: https://betekinto.hu/sites/default/files/betekinto-szamok/2012_4_cserenyi_zsitnyanyi.pdf
- DOMANOVSZKY Sándor et al. (2009): *Duna-hídjaink*. Budapest: Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központ. Online: <https://hidak.hu/konyvek/Duna%20hidjaink.pdf>
- FARKAS György – KOVÁCS Tamás – SZALAI Kálmán (2000): A Közúti Hídszabályzatok teherbírási követelményeinek változása a XX. században és összehasonlítás az Eurocode-dal. *Közúti és Mélyépítési Szemle*, 50(8), 274–280.
- FARKAS György – KOVÁCS Tamás – SZALAI Kálmán (2010a): Tartószerkezeti Eurocode-ok. Javaslat a hazai alkalmazás legfontosabb nemzeti paramétereire – 1. rész. *Beton*, 18(5), 3–7.
- FARKAS György – KOVÁCS Tamás – SZALAI Kálmán (2010b): Tartószerkezeti Eurocode-ok. Javaslat a hazai alkalmazás legfontosabb nemzeti paramétereire – 2. rész. *Beton*, 18(6), 10–14.
- HAJÓS Bence (2008): Bevezető a vásárosnaményi II. Rákóczi Ferenc Tisza-híd pályaszerkezetének átépítéséhez. In HAJÓS Bence (szerk.): *49. Hidmérnöki konferencia előadásainak gyűjteménye*. Lánchíd füzetek 10. Biri: Első Lánchíd Bt., 83–95. Online: https://hidak.hu/konyvek/Lanchid_10_hidkonf.pdf
- HAJÓS Bence (2022): Az Útügyi Műszaki Előírások szerepe az útépitésre vonatkozó szabályrendszerben. *Útügyi Lapok*, 10(16), 10–17. Online: <https://doi.org/10.36246/UL.2022.1.02>
- HAJÓS Bence (2023): Szempontok és javaslatok a közúti hídtervezés hasznos ideális jármű teher-szintjének meghatározásához a készülő új Útügyi Műszaki Előírásban. *Útügyi Lapok*, 11(18), 30–43. Online: <https://doi.org/10.36246/UL.2023.2.03>
- KOLOZSI Gyula (2009): Változások a Hídszabályzatban. In KARA Katalin (szerk.): *50. Hidmérnöki konferencia előadásainak gyűjteménye*. Lánchíd füzetek 13. Biri: Első Lánchíd Bt., 316–321. Online: https://hidak.hu/konyvek/Lanchid_13_hidkonf.pdf
- KOLOZSI Gyula (2022): A hídtervezési Útügyi Műszaki Előírások átdolgozása. In HAJÓS Bence (szerk.): *Hidász napok 2021 előadásainak gyűjteménye*. Lánchíd füzetek 29. Biri: Első Lánchíd Bt., 91–97. Online: https://hidak.hu/konyvek/Lanchid_29_HN2021.pdf
- KOLOZSI Gyula et al. (2001): Változások a közúti hidak tervezésében. *Közúti és Mélyépítési Szemle*, 51(8), 313–321.
- PÁLL Gábor (2007): *A budapesti Duna-hidak története*. Lánchíd füzetek 6. Biri: Első Lánchíd Bt. Online: https://hidak.hu/konyvek/Lanchid_06_Danubius.pdf
- TÓTH Ernő – TRÄGER Herbert – VÉRTES Mária (2009): *50 Hidmérnöki konferencia 1962–2009*. Budapest: Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központ. Online: <https://hidak.hu/konyvek/50%20hidmernoki.pdf>
- TRÄGER Herbert (1968): *A közúti hídszabályzatban foglalt méretezési előírások 1967. évi módosításának műszaki-gazdasági elemzése*. Műszaki doktori értekezés. Budapest.
- ZSÁMBOKI Gábor: *Acélszerkezetű közúti hidak építése hazánkban 1945–1969 között*. Lánchíd füzetek 3. Biri: Első Lánchíd Bt. Online: https://hidak.hu/konyvek/Lanchid_03_Zsamboki.pdf

Egyéb források

- 33.034/1910 K. M. rendelet: Szabályrendelet a közúti hidak tervezéséről, forgalomba helyezéséről, próbaterheléséről, és időszakos megvizsgálásáról (Közúti hídszabályzat). Online: <https://hidak.hu/konyvek/KHSZ1910.pdf>
- e-UT 07.01.12:2011 Erőtani számítás közúti hidak tervezése (KHT) 2. Útügyi Műszaki Előírás. Online: <https://ume.kozut.hu/dokumentum/745>
- H. 1. sz. (1951): *Vasúti Hídszabályzat*. Online: <https://hidak.hu/konyvek/VHSZ1951.pdf>

- KHSZ (1935): *A közúti híd szerkezetekre vonatkozó ideiglenes feltételek*. Budapest: M. Kir. Kereskedelmiügyi Minisztérium. Online: <https://hidak.hu/konyvek/KHSZ1935ideiglenes.pdf>
- KHSZ (1950): *Ideiglenes közúti hídszabályzat*. Budapest: Magyar Közlekedés- és Postaügyi Minisztérium. Online: <https://hidak.hu/konyvek/KHSZ1950ideiglenes.pdf>
- KHSZ (1956): KPM Sz. HI/1-56 R – G 82 Szakmai Szabvány. Online: <https://hidak.hu/konyvek/KHSZ1956.pdf>
- KHSZ (1967): KPM SZ HI/1-67 – G 82 Szakmai Szabvány. Online: https://hidak.hu/konyvek/KHSZ1967_1r%C3%A9sz.pdf
- STANAG 2021. Military Load Classification of Bridges, Ferries, Rafts and Vehicles. Edition 8, 14 September 2018 NSO/1074(2017)MILENG/2021 NATO

Balla Tibor,¹ Padányi József²

Műszaki kiválóságok: Császár András ezredes³

Engineer Geniuses: Colonel András Császár

Császár András ezredes 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. Térképészként is kimagasló tehetséggel végezte munkáját hazája javára.

Elsősorban – de nem kizárólagosan – a vasútépítés volt a szakterülete. Épített vasutat, hidakat, drótkötélpályákat az első világháború orosz, román és olasz hadszínterén. Kiemelkedő szakmai felkészültsége és hazája iránti rendíthetetlen hűsége emelte egyre magasabb beosztásokba.

Kulcsszavak: vasútépítés, hídépítés, első világháború, orosz hadszíntér, román hadszíntér, olasz hadszíntér, katonai térképészet

The military career of András Császár could be considered ordinary, as he progressed through the ranks without any difficulties. Even when he had to serve with distinction in such difficult times as the fronts of the Great War, and the turbulent times after the war. As a cartographer, he further utilised his abilities in service of his country.

One of his main professional interests lay in building railroads. He built railways, bridges, funicular railways on the Russian, Italian, and Romanian frontlines of the First World War. His outstanding professional skills and his unwavering love for his country raised him into ever-higher positions.

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

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

³ A Jacobi Ágost által szerkesztett könyvben tábornokként nevesítik Császár Andrást (JACOBI 1938: 504). Tekintve, hogy a rendelkezésünkre álló irattári források szerint Császár András legmagasabb rendfokozata ezredes volt, mi ebben a tanulmányban ezt használjuk.

Keywords: *railway construction, bridge construction, First World War, Russian Front, Romanian Front, Italian Front, military cartography*

Bevezetés

Császár András (1. kép) 1883. június 7-én született Kolozsváron, római katolikus vallású családban, egy magyar királyi csendőr alezredes fiaként.

Az elemi iskola és egy reáliskolai osztály befejezése után, a különböző császári és királyi katonai képzőintézeteket végezte: az alreáliskola három évfolyamát Kassán, majd a katonai főreáliskola három évfolyamát Mährisch-Weiskirchenben, végül 1900 és 1903 között a Műszaki Katonai Akadémiát Bécsben, mindhárom intézményt nagyon jó eredménnyel.

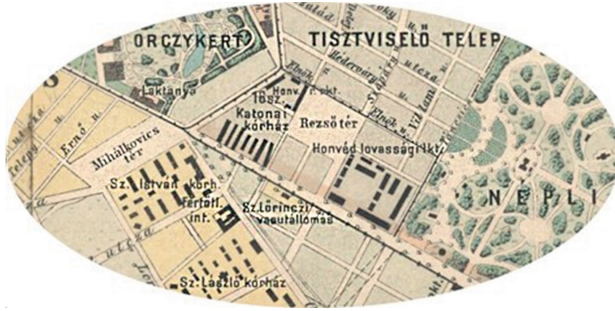
A korszak és az Osztrák–Magyar Monarchia hadserege elvárásainak megfelelően több nyelven is megértette magát, hiszen német és magyar nyelven tökéletesen beszélt és írt, franciául és angolul elegendő mértékben beszélt és írt. Angoltudása 1924-re azonban már gyenge minőségűre kopott.



1. kép: Császár András

Forrás: JACOBI 1938: 539.

1919. március 12-én nősült meg, felesége az 1889. augusztus 13-án született Seewald Ottilia volt. Gyermekekéldés nem kísérte házasságukat. Az első világháború utáni, trianoni Magyarország magyar királyi Honvédségében uralkodó lakásviszonyokat jól reprezentálja többek között az a tény is, hogy 1924-ben még a Budapest X. kerületében, az Üllői út 102. alatt található József főherceg lovassági laktanyában lakott (2. kép).



2. kép: A honvéd lovasági laktanya Budapest korabeli térképén

Forrás: <https://bit.ly/45XfjGy> alapján készítették a szerzők

Az 1900-as évek első évtizedében az előjárói által róla készített minősítésekből kiderül, hogy jó kerékpáros, úszó, tornász, gyorsíró és távíró volt. Az 1920-as években feljebbvalói kiemelték, hogy a korábban már meglévő készségei mellett még jártas a földmérés (geodézia), a vasút-, a hid-, a sodronykötélpálya-építés területén is. Utóbbiakat a Korneuburgban, a Vasúti és Távíróezrednél elvégzett tanfolyamoknak köszönhetette.

Az 1924. november 30-án róla készült előjárói jellemzésben a következőket olvashatjuk: „A vasútsapatnál úgy békében, mint háborúban teljesített szolgálatainál fogva a vasút- és hidépítés stb. terén teljes jártassággal bír, és ezen szakmában mindenkor eredménnyel lesz használható.” Katonai értékét kiválóra minősítették, viszont a világháborúban kialakult nyagtohallása miatt csapatszolgálatra alkalmatlannak tartották.

Pályafutása

Katonaiszti pályafutását 1903. augusztus 18-án kezdte meg hadnagyként a császári és királyi Vasúti és Távíróezredben Korneuburgban, ahol 1906-ig századszolgálatot látott el.⁴ 1904–1905 folyamán gyalogsági lovaslótanfolyamot végzett Korneuburgban, nagyon jó eredménnyel. 1906. január 1-jétől raktártisztként tevékenykedett alakulatánál Korneuburgban. 1907. december 1-jétől a császári és királyi Katonaföldrajzi Intézet geodéziai csoportjában szolgált Bécsben, ahol számítási munkákat végzett, háromszögelési és szintezési munkákban vett részt, alapvonalméréseknél, viszonylagosnehézség-meghatározásoknál dolgozott.⁵ 1909. május 1-jén főhadnaggyá nevezték ki beosztásában. 1909-ben Horvátországban és Dalmáciában, 1910-ben Bécsben és Budapesten, továbbá Karintiában és Tiroiban végzett geodéziai felméréseket. 1911-ben számítási munkálatokban vett részt a bécsi Katonaföldrajzi Intézet Trigonometriai és Csillagászati Osztályán.

⁴ A cs. és kir. Vasúti és Távíróezred (K. u. K. Eisenbahn- und Telegraferegiment) 1883-ban alakult meg, és 1911-ben vált ketté a művelt szakmák szerint. A vasúti ezred mindhárom zászlóaljával Korneuburgban maradt.

⁵ A bécsi Katonaföldrajzi Intézetet (Militärgeographisches Institut – M. G. I.) 1839-ben hozták létre, első parancsnoka Ritter Campana von Spülenberg vezérőrnagy lett. A világháború kitörése előtt jelent meg a Balkán-félszigetről az Operationskarte B 1:400 000-es méretarányban. A hadműveleti térkép nyolc lapon ábrázolta Bosznia-

1911. november 16-tól a császári és királyi Vasúti Ezredben látott el századszolgálatot Korneuburgban. 1913. november 11-től 1914. június 30-ig jó eredménnyel végezte a császári és királyi hadtest-tisztiiskolát Budapesten. 1914. július 1-jétől ismét századszolgálatot végzett Korneuburgban.

A Monarchia hadvezetése meglehetősen későn ismerte fel a vasút fontosságát, így azonnali fejlesztésekről döntött. 1883-ban, a császári és királyi Vasúti Ezred megalakulása utáni években hozták létre a tisztikar vasúti szolgálatban való jártasságához szükséges képzési rendszert. Ennek egyik meghatározó eleme volt, hogy évente adott számú tisztet vasúti forgalmi, fűtőházi és műhelyszolgálatra vezényeltek az osztrák és a magyar államvasutakhoz, akik így megismerkedhettek a vasút működtetésével. Ezenkívül a tisztek egy részét kötelezték, hogy a bécsi műegyetemen hidépítést, géptant, elektrotechnikát tanuljon. A vasúthoz való vezénylés után a tiszteknek a vasúti hivatalnokok számára előírt elméleti és gyakorlati vizsgákon kellett számot adni a tudásukról. Ezenfelül – a természetes lő-, lovaglő- és vívógyakorlatokon kívül oktató tanfolyamokat tartottak a vasúti és távirószolgálattal kapcsolatos tudnivalókról. Önkéntesnek a vasúti ezredhez pedig csak az jelentkezhettek, aki a Monarchia területén található műegyetemek egyikén az általános mérnöki vagy a gépészmérnöki szakon az első szigorlatát sikeresen teljesítette. A tartalékos tisztek kiképzése az ezred önkéntes iskolájában történt, amely 1885 óta működött. A legénység állományának nagyobb részét vasútépítőnek, kisebb részét a távirószolgálatra képezték ki. Az elméleti oktatás a téli hónapok alatt a század legénységi iskoláiban és a zászlóalj tisztesiskolájában folyt.⁶

A Monarchiában a rendes nyomtávú vasutak alkalmazottainak létszáma 200 000-et, vasúti munkásokkal együtt 440 000-et tett ki, és a békeszükségletet kielégítette, éppúgy, mint a 12 000 mozdony, 39 500 személy- és 266 000 teherkocsi is. Bosznia-Hercegovina, Dalmácia keskeny nyomtávú vasútjai körülbelül 8000 háromtengelyes kocsival rendelkeztek. A vasútvonalak – kevés, helyi jelentőségű vonaltól eltekintve, amelyek villamos energiával vagy fatüzeléssel működtek – gőzüzeműek voltak. A szükséges – részben gyenge minőségű – szén hetekre mindenkor biztosítva volt. Kenő- és egyéb, az üzem fenntartásához szükséges segédanyagok bőven állottak rendelkezésre. A hadi szénkészlet – kiváló minőségben – a teljes forgalmat alapul véve, 8 hétre biztosította a működést.

A háború kitörésekor a hadseregben 28 vasútépítő század, 4 tábori lóvasút, 1 gőzüzemű tábori vasút, 3 mozgó vasúti szertár, 1 állandó vasúti szertár és a krakkói, przemysli és polai tábori vasutak álltak a Monarchia rendelkezésére. (3. kép) Az 1914-ben mozgósított alakulatok összes létszáma 640 tisztre, 37 500 emberre, 1300 járműre és 16 900 lóra tehető.⁷

Hercegovina, Horvátország, Délkelet-Magyarország, Szerbia, Montenegró, Albánia területét, és kis darabon átnyúlt Bulgáriába és Görögországba is. Rövid néhány évtized alatt a Monarchia hadvezetése a bécsi M. G. I. tevékenysége által különböző méretarányú katonai térképsorozatokat birtokába jutott. Ezek felhasználásával folytak a háborús előkészületek az első világháborút megelőző években. Forrás: MICZEK 1971.

⁶ STENCINGER 2020.

⁷ JACOBI 1938: 383.

1914-ben 313 vasútvonalra volt kész a hadimenetrend, 31 200 km pályahosszra és 3846 vasútállomásra. Ezeknek a hadimenetrendeknek a többsége az egyes vasútvonalak 1904. évi állapota alapján készült, és a lehető legnagyobb biztonság elérése érdekében részben már elavult, részben a túlzó vasútforgalmi biztonsági tényezők alapján készült.⁸



3. kép: Tábori lóvasút, 1915

Forrás: https://digital.onb.ac.at/rep/access/preview/BAG_15525881

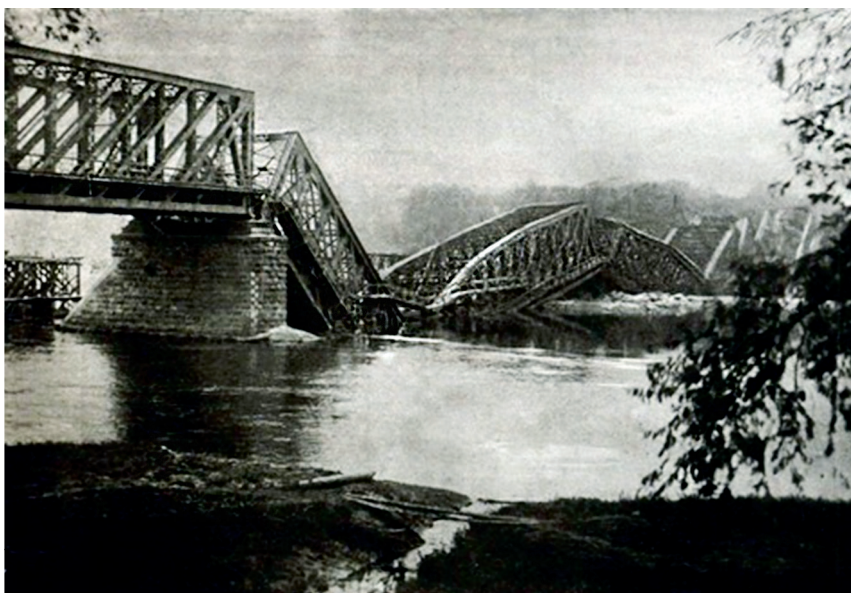
A vasúti szállítás és a vasútépítő csapatok fontosságát bizonyítja, hogy a háború végéig a vasútezred a következő alakulatokat állította fel: 30 vasúti század, 32 tábori vasúti század (az előbbieknél könnyebb felszereléssel), 2 hídépítő különítmény, 1 hídkiemelő különítmény, 1 víz alatt vágó különítmény, 1 vasútépítő nyomjelző különítmény, 8 sodronypálya-forgalmi különítmény, 41 sodronypálya-forgalmi szakasz, 1 villamos vasúti építő század, 1 villamos vasúti forgalmi század, 8 vasúti forgalmi zászlóalj, 19 függetlenített vasúti forgalmi század (az elfoglalt vasútvonalakon), 13 vasútforgalmi század (közvetlenül a harcvonal mögött), 3 vasútikomp-különítmény (a Száván Belgrádtól nyugatra Zabrežnál, Szerbiában a Dunán Belgrádtól keletre Semendriában és Gyurgyevónál a Dunán, Bulgária és Románia között), végül 5 páncélvonat műszaki csoport.⁹

⁸ KÉRI 1985: 225–294.

⁹ KÉRI 1985: 281.

Az első világháborúban

1914. július 28-tól, az első világháborús mozgósítás elrendelésétől kezdve a II. pótszázad parancsnoka volt alakulatánál Korneuburgban, 1914. augusztus 1-jén pedig századossá nevezték ki. 1915. február 1-jétől frontszolgálatot látott el, nevezetesen a császári és királyi 2. vasútépítő század parancsnokaként vett részt műszaki feladatok megoldásában, Galíciában az orosz hadszíntéren. Részt vett a Tarnów–Rzeszów közötti vasútvonal helyreállításában, a tarnóvi és a rzeszóvi vasúti híd építésében, Dębica és Rzeszów vasútállomásainak helyreállításában. 1915. június 16-tól a császári és királyi 37. vasútépítő század és az ezzel kapcsolatos vasútépítő csoportok parancsnokaként tevékenykedett az orosz hadszíntéren Volhíniában, így különböző vasúti hidak (például az ivangorodi, rozajszcei) építésében, a Betzer–Cholm rendes nyomtávú vasút építésében (4. kép).



4. kép: Rombolt vasúti híd Ivangorodnál

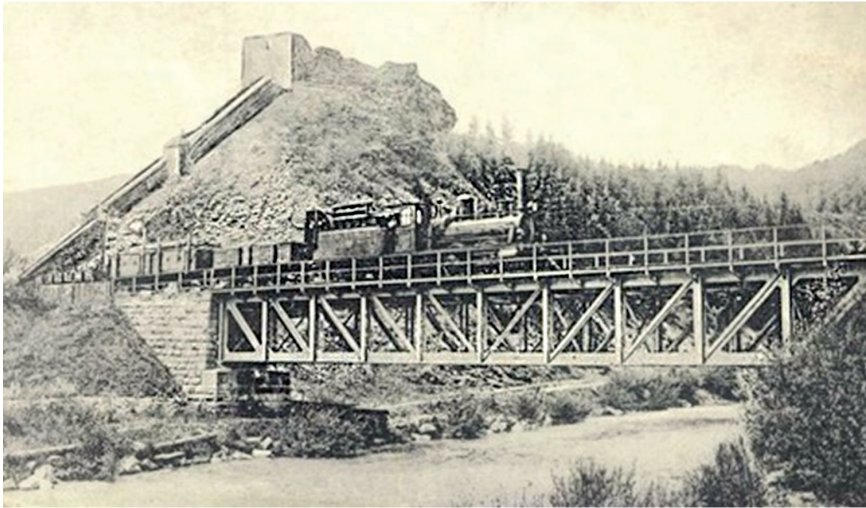
Forrás:https://keptar.oszk.hu/090500/090511/569_664_pix_Oldal_07_kep_0002_nagykep.jpg

Érdeemes itt idéznünk egy rövid részletet Jacobi Ágost könyvéből, amely szikár pontossággal mutatja az építés nehézségeit:

„1915 augusztus 13.-tól kezdve 2 hidász- és 2 vasutaszázad együttesen megépítette az Iwanorodnál a Visztulán átvezető vasúti hidat. A robbantott, kétpályás állandó vasúti híd mellett épült 550 méter hosszú új híd, augusztus 28.-án adatott át a forgalomnak. A híd építésénél sok nehézséget okozott az, hogy a cölöpöket 8 méter mélyen kellett a lágy homoktalajba beverni. Emiatt kétféle magasságú cölöpverőtagot használtunk. A magasabb állványzatú tag 4 m-re verte le a cölöpöket, ezután következett a 4 m-rel alacsonyabb állványzatú tag, és további

4 m-rel 8 m-re verte le a cölöpöket. 4 ilyen tagpárral dolgozott a jobbparti részen a 2 hidász-század, a tervezett időket könnyen betartva. A balparti részen a 2 vasutasszázad magasabb állványzatú cölöpverővel, közvetlenül 8 m-re verhetette le a cölöpöket és a tervezett időket nem tudta betartani. Ez a körülmény a mi könnyű, egyszerű, fából készült cölöpverő állványaink jószágát igazolta.”¹⁰

1916. augusztus 4-től alakulata élén a román hadszíntéren, az erdélyi vasútállomások (például Kolozsvár, Czigányi) kibővítésében, 1916. szeptember 22. és október 6. között a gyergyóditrói és várhegyi vasúti hidak helyreállításában vett részt. 1916. október 7. és 1917. január 10. között a Héjjasfalva és Székelyudvarhely közötti vasútvonal helyreállításában vett részt, vasúti rakodók építését vezette Gyergyóditróon, Gyergyószentmiklóson, Madéfalván, továbbá vasútállomások kiépítését Marosfőn, Vaslábán, Szárhegyen, azontúl drótkötélpálya építését irányította Gyimesközéplekon, valamint részese volt a gyimesi vasúti híd és az Elie Radu településen található vasútállomás helyreállításának, utóbbinak ellenséges tűzben (5. kép).



5. kép: A gyimesi vasúti híd

Forrás: <https://bit.ly/3XYk6PQ>

1917. január 11 – 1917. április 15. között Madéfalva vasútállomásának kibővítésében, a Csík-szentsimon–Úzvölgy-drótkötélpálya építésében, a Magyaros hegyi felvonók megépítésének megkezdésében vett részt. 1917. április 16-tól ismét az orosz hadszíntéren Volhíniában, Galíciában, Bukovinában tevékenykedett. Először az iwaniczy-i átrakodó pályaudvar építésében, majd 1917. augusztus–szeptemberben a Kaľusz–Czernowitz-i vasútvonal, továbbá négy híd és három vasútállomás helyreállításában. Az érintett vasúti csapatok ezenkívül 166 km felépítményt és 29 állomást, 80 km vágányhosszal – tehát összesen 246 km-t – szereltek át orosz

¹⁰ JACOBI 1938: 224.

nyomtávról szabványosra, és kijavították az állomások egyéb megrongált üzemi és forgalmi berendezéseit is.¹¹ Beszédesebb adat, hogy csak 1914-ben, a galíciai harcokban elpusztult körülből 1000 km vasúti pálya, 150 vasútállomás, 150 mozdony és 20 000 vasúti kocsi, azaz ilyen veszteség mellett kellett biztosítani az állandó vonatközlekedést.¹²

1917. szeptembere és decembere között pedig a császári és királyi 37. vasútépítő század és építőcsoport (4 munkásszázad) parancsnokaként a Besszarábiában található Jurkatz–Gromeshti keskenyvágányú gőzvasút építésében vett részt.

1917. december 20-tól 1918. november 19-ig az olasz hadszíntéren szolgált. 1918. januárja és májusa között a Valle di Cadore – Calalzo közötti benzin-elektromos tábori vasút építésében, a Cortina d'Ampezzo-i pályaudvar építésének megkezdésében vett részt. 1918. júniusában alakultával készenlétben állt az osztrák–magyar hadsereg által végrehajtott piavei offenzíva végrehajtásának támogatására. 1918. júliusa és novembere között a császári és királyi 37. vasútépítő század parancsnoka, valamint a 6 munkásszázadnyi erőt képviselő III/b vasútszervező építésvezetője volt a Toblach – Cortina d'Ampezzo közötti állandó keskenyvágányú vasútnál (6. kép).



6. kép: A Toblachon átmenő keskenyvágányú vasút vonalvezetése

Forrás: KÉRI 1985: 226. alapján készítették a szerzők

Ahhoz, hogy érzékeltetni tudjuk a vasúti szállítás szerepét az olasz hadszíntér hadműveleteiben, nézzük meg a következő adatokat! A Monarchia csapatai 11 csatában állták az Isonzónál az olaszok rohamait, amelyek célja Trieszt elfoglalása és Stájerország déli részének birtokba vétele volt. Ezek a védelmi harcok nagy veszteségekkel jártak, és a nagy túlerővel, valamint nagy anyagi fölényrel rendelkező olasz támadások mind veszélyesebbé váltak. Ezért a német és az osztrák–magyar hadvezetés elhatározta a támadást és az olaszoknak az Isonzó vonaláról való visszaszorítását. A támadás kezdetét 1917. október 24-ére határozták meg. A támadó csapatok a Villach–Görz- és a tengerpartvonalra, illetve részben attól nyugatra vonultak fel. Az átcsoportosítás folyamán osztrák–magyar részről hat, német részről hét hadosztály vonult

¹¹ JACOBI 1938: 442.

¹² KÉRI 1985: 275.

fel, 30 nap alatt napi 100–120, összesen 3000 száztengelyes vonattal. Az osztrák–magyar hadosztályok Erdélyből, Bukovinából és Kelet-Galíciából érkeztek, míg a német hadosztályok részben a francia hadszíntérről, részben az orosz arcvonalról kerültek a hadszíntérre.¹³

Az 1918. június 14-én meginduló piavei csatához a piavei arcvonalra 565, a dél-tiroli arcvonalra 541, a karintiai arcvonalra 47, összesen 1153 száztengelyes, túlnyomóan Erdélyből és Bukovinából, kisebb részben Galíciából és Orosz-Lengyelországból érkező szállítmány érkezett. Összesen hét, részben lóról szállított lovashadosztály, tizenhat gyaloghadosztály, tizenöt átfegyverzett, korszerűsített tüzérandár és nagyszámú nehéztüzérség.

A világháború után

Császár András 1918. november 20-tól a magyar vasútezred helyettes parancsnoka és műszaki segéd tisztje volt Vácott, 1919. március 21-től kezdődően a vörös vasútcsapat kötelékében az 5. és az 1. hadtest parancsnokságán a vasútépítés vezetőjeként folytatott tevékenységet Párkányánán és Cegléden. 1919. augusztus 1-jétől a magyar vasúti pótkeret parancsnoki beosztását töltötte be Budapesten, 1919. szeptember 1-jétől őrnagyi rendfokozatban. 1919. december 1-jétől geodétaként szolgált a Katonai Térképező Csoportnál Budapesten.

Mivel hallása az 1917 februárjában a román hadszíntéren elkapott influenza szövődménye következtében jelentős mértékben megromlott, és csapatszolgálatra alkalmatlanként csak irodai szolgálatra nyerhetett beosztást, 1920. január 1-jén beosztották a budapesti Magyar Királyi Pénzügyminisztérium XIII/C osztályára (állami térképészet) Budapesten. 1920. január 16-tól geodétaként teljesített szolgálatot a XIII/C osztály szerkesztőosztályán Budapesten. 1920. szeptember 1-jétől a geodézai csoport vezetője volt az őrnagyi rendfokozatnak megfelelő altanácsnoki rangban, a magyar fővárosban. 1923. május 1-jén fenti beosztásában alezredessé (tanácsnokká) nevezték ki.

1929. május 1-jén ezredessé (főtanácsnokká) nevezték ki a helyi alkalmazású tisztek csoportjában és az 1920 óta betöltött beosztásában. 1934. szeptember 1-jén helyezték nyugállományba. 1936. január 6-án hunyt el Budapesten, az I. kerületi Labanc út 14/a. alatti lakásában.

Szakmai tehetségét, szorgalmát több osztrák–magyar és magyar kitüntetés adományozásával is elismerték: 1908. december 2-től a Katonai Jubileumi Keresztnek, 1913-tól az 1912–13. évi Mozdósítási Keresztnek, 1916. május 15-től a Katonai Érdemkereszt III. osztályának hadidíszítménnyel, 1917. december 21-től az Osztrák Császári Ferenc József-rend lovagkeresztjének hadidíszítménnyel, 1924-től a Katonai Tiszti Szolgálati Jel III. osztályának, 1929-től a Kormányzói Dicsérő Elismerésnek, 1933-tól a Katonai Tiszti Szolgálati Jel II. osztályának a birtokosa volt. A felsoroltakon kívül 1917. november 10-én a császári és királyi vezérkar főnökének dicsérő elismerését kapta az ellenség előtt teljesített kiváló szolgálataiért.

Nem ismerünk olyan írásművet, amelyet a nevéhez köthetnénk. Sírját nem sikerült felkutatnunk.

¹³ KÉRI 1985: 272.

Befejezés

Császár András ezredes tevőlegesen részese volt annak a hősiesség szolgálatnak, amelyet a vasútezered katonái végeztek. A vasútezered alakulatainak volt köszönhető, hogy az előnyomuló hadtesteket – az ellenség folyamatos rombolásai ellenére is – nyomon követte a vasúthálózat. Olyan magyar katonák szolgáltak ebben a csapatnemben, mint Bartha Károly, Feimer László és Schmoll Endre.

A vasútépítő katonák érdeme, hogy az utánszállítás csapatokkal, lőszerrel és élelemmel minél hamarabb megindulhatott (helyreállítási munkák, üzembe helyezés, üzemkezelés), hogy a katonai, esetenként polgári szükségleteknek megfelelő vágányfejlesztéseket végrehajtották. A vasútezered katonái vezették az új vonalak építését, közreműködtek az építő munkálatoknál, végrehajtották az ellenség késleltetését célzó vasúti rombolásokat, illetve helyrehozták az előnyomulást akadályozó rombolásokat. Forgalomra alkalmassá tették és üzemeltették az újonnan elfoglalt vasútvonalakat, ellátták és a háború folyamán, az olasz harctéren megépítették, üzemeltették a részben csapat-, részben anyagi utánpótlás szempontjából nélkülözhetetlen sodronykötélpályákat. A vasútezered alakulatait fegyelem, nagyfokú műszaki tudás, önfeláldozás és lankadatlan szorgalom jellemezte. Mindez igaz Császár Andrára is, aki katonai pályafutásának meghatározó szeletét a vasút szolgálatában töltötte.

Minden katonát egy cél vezérelt: rövidebb idő alatt mozgósítani, mint az ellenfél, gyorsabban felvonulni a hadszíntéren, hamarabb elérni a hadműveleti készséget és a még felvonulását be nem fejezett ellenfelet összefogott erővel megtámadni, a hadászati kezdeményezést megragadni és azt az ellenség megtöréséig megtartani.¹⁴



7. kép: A vasúti ezred rendfokozati jelzése (őrnagy)

Forrás: https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Major_im_K.u.k._Eisenbahn-Regiment.png

Felhasznált irodalom

Hadtörténelmi Levéltár, Budapest, Tiszti anyakönyvi lapok 7896.

Hadtörténelmi Levéltár, Budapest, HM Általános 4. osztály 1936.

Hadtörténelmi Levéltár, Budapest, HM Felülvizsgálati iratok 90. doboz.

JACOBI Ágost szerk. (1938): *Magyar műszaki parancsnokságok, csapatok és alakulatok a világháborúban.*

Budapest: Közlekedési Nyomda K. F. T.

¹⁴ KÉRI 1985: 292.

- KÉRI Kálmán (1985): Az Osztrák–Magyar Monarchia vasúthálózata 1914-ben és felhasználása az első világháborúban. *Hadtörténelmi Közlemények*, 32(2), 225–294. Online: https://epa.oszk.hu/00000/00018/00150/pdf/EPA00018_hadtortenelmi_1985_02_225-294.pdf
- MICZEK György (1971): Az Osztrák–Magyar Monarchia katonai térképészete. *Hadtörténelmi Közlemények*, 18(4), 685–712. Online: https://epa.oszk.hu/00000/00018/00250/pdf/EPA00018_hadtortenelmi_1971_04_685-712.pdf
- STENCINGER Norbert (2020): Vajon találkoztak? Egy vasutas század emlékirata. *Nagyháború.blog*, 2020. december 31. Online: https://nagyhaboru.blog.hu/2020/12/31/vajon_talalkoztak

Jasztrab Péter János¹ 

Az elsötétítés biztonsági aspektusai Magyarországon

1. rész: Alapvetések, teóriák a második világháborúban és az azt megelőző években

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

Blackout during the Second World War and the Years Before, Part 1

Minden korszaknak megvannak a saját kihívásai, és az élet változása a különböző korok társadalmaitól számos új megoldást és alkalmazkodást igényel. Az együttélés és a közösségi lét szabályozása ma is a központi irányításra hárul, de ez mindig is így volt. Egy krízis eszkalációja és politikai tényezővé válása, mint 21. század világvármánya vagy a 20. század világháború egyaránt döntések elé állította az egyént és a társadalmat. A biztonság és a közösségi lét összeegyeztetése érdekes és egyben kihívásokkal teli kérdés, még ilyen távlatból nézve is. A cikksorozatban áttekintem a második világháborúban használt elsötétítési módokat, és elemezem a hozott intézkedéseket, megoldásokat, amivel közelebb kívánom vinni az olvasót a korszak problémáihoz és az egyének által alkotott műszaki és társadalmi adminisztratív megoldásokhoz, azaz ahhoz a világhoz és hétköznapi élethez, ami megmutatja, miként alkalmazkodott a világítás, illetve annak használati körülményei a biztonság és légoltalom egymással szögesen ellentétes elvárásai megfelelésének érdekében. Teszem mindezt a céllal, hogy kiegészítsem az eddig a témában született műveket, valamint pótoljam a magyar nyelvű szakirodalom hiányát, illetve egyúttal felkeltsem a szakemberek és a nagyközönség érdeklődését a téma iránt. A cikkben görcső alá veszem a teóriát, a szabályozást és a praktikát, ezért az elkövetkezőkben szó esik röviden az elsötétítés kialakulásáról, a teóriáiról, fogalmakról és az idehaza hozott intézkedésekről, illetve

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

annak katonai vonatkozásairól, valamint jelentőségéről, szerepéről, aminek a világitástechnikai kérdéseit részletesebben a második részben mutatom be.

Kulcsszavak: elsötétítés, elsötétítés magyar szabályai, fény, biztonság, világháború, légtalalom, elsötétítés gyakorlat

Each historical period has its own challenges, and the diversity of life requires many new solutions and a certain degree of adaptation from societies. The regulation of co-existence and community life is still a matter for centralised control, but it was also the case in the past. The escalation of a crisis and its political dimension, such as the pandemic of the 21st century or the world war of the 20th century, have presented both society and its members with choices. Reconciling security and community life is an interesting issue, even from this perspective. In this article, I will trace the methods of blackout used before and during the Second World War and analyse the measures and solutions adopted, with the aim of bringing the reader closer to the problems of the period and the solutions that shows how lighting and its equipment and conditions of use were adapted to meet the contradictory rules of security and safety. In three separate articles you can read the ways in which lighting technology has been put into the service of blackout, and how it affected the occupational safety. I aim to supplement the works published on the topic so far, as well as to make up for the lack of specialised Hungarian literature, and at the same time to arouse the interest. This article briefly discusses the development of blackout, its theories, concepts, and the measures taken in this country.

Keywords: blackout, Hungarian light blackout regulation, light, security, safety, world war, air defence, Air Raid Precautions blackout practice

Bevezetés

A 20. század elején a technika fejlődése, a légi járművek egyre népszerűbb katonai alkalmazása, valamint a növekvő fenyegetések miatt világszerte jól működő elsötétítési rendszer vált szükségessé, ami új stratégiát hozott magával, és a légi hadviselés kialakulásához és elméletéhez vezetett, amely abból a hitből táplálkozott, hogy a pusztítás megelőzhető, a hátországot el lehet rejtteni, és meg lehet téveszteni az ellenséges gépeket, amelyek célt tévesztve dobják le bombáikat (1. kép).

Kialakult a honi légvédelem és a légtalalom (polgárvédelem). Az elsötétítés egyértelműen a támadások megnehezítésére szolgált. Célja miatt – tudniillik hogy teljesen ellehetetlenítse az éjszakai légitámadásokat úgy, hogy az éjjeli fényforrás a pilóták vagy felderítők számára ne jelentsen támpontot a levegőből – egyszerűen nem vonatkozhatott egyetlen létesítményre, hanem az egész tájra, akár az egész országra ki kellett terjednie. A sötétség beállta azonban nem befolyásolhatta a gazdasági, a társadalmi és a privát életet. Zavartalanul kellett folytatódnia a hétköznapi életnek is, nem akadályozhatta a közlekedést vagy a szolgáltatásokat. A közigazgatás, a magán- és az állami gazdasági társaságok működésében el kellett kerülni a fennakadást. Főleg, hogy a termelési igények a háborús konjunktúra következtében megnövekedtek.



1. kép: Csepel légi bombázása 1941-ben

Forrás: Képes Vasárnap 1941: 525.

A megrendelések teljesítése érdekében a kapacitásokat is bővítették. A termelési és az azt kiszolgáló erőforrások fokozása erőteljesebb kooperációt követelt meg a gazdasági szereplőktől. Miközben a háborúban az ország ipari körzetei, infrastruktúrája célponttá váltak, az igények az egekbe szöktek. Ilyen körülmények között a károk és az áldozatok számának csökkentése érdekében hozott elsötétítési intézkedéseket és a biztonságot mint két ellentétes elvet csak az életvédelem mint közös cél volt képes egyesíteni. Ezért a hatékony kivitelezéshez észszerű, racionális, mérnöki megoldásra volt szükség. Még akkor is, ha a gazdasági szereplők és döntéshozók abban voltak érdekeltek, hogy csak annyi fény legyen, ami a termeléshez és a privát élethez ténylegesen nélkülözhetetlen. Olyan korban történt ez, amikor az elektromos világítás már széles körben teret hódított (2. kép).



2. kép: Budapest (a Citadella és a Szent Gellért-szobor) díszvilágításban 1929-ben

Forrás: HORVÁTH 1989

Az elsötétítés kialakulása

A 20. század puszkaporos hangulata és a hatalmi törekvések, illetve a technológiai fejlődés eredményeként az újszerű fegyverek megjelenése, illetve Európában a század elején bekövetkezett világegés egyaránt rányomta bélyegét a hadi gondolkodásra, aminek a célja az állóháború, valamint az addig tapasztalt szörnyűségek elkerülése volt. Az újonnan megjelenő harci eszközök megfelelő kilátást nyújtottak, és olyan stratégiával kecsegtettek, amely végső soron az elsötétítés elméletéhez és gyakorlatához vezetett. Kialakulásának gyökereit az aviatikával kapcsolatos nemzeti érzésekben kell keresnünk, mivel annak ellenére, hogy az első világháború előtt nemzeti becsben tartották a német Zeppelineket és az antant oldalán a repülőgépeket, a háború kitörésekor újszerűen hatott a légitámadás. Az első elsötétítési intézkedés Winston Churchillhez köthető, aki a német tengeralattjárók elleni védekezés felkészülése érdekében, az admirális első lordjaként gyakorlatot hajtatott végre még 1913-ban. A városok részéről nem voltak védelmi előkészületek. 1914-ben bevezették a briteknél az első elsötétítési rendelkezéseket.² A légitámadások során a bevetett egységekre már az első világháborúban is komoly veszélyt jelentettek a nappali légvédelmi ütegek, miattuk kényszerültek taktikai váltásra a hadakozó felek (3. kép).



3. kép: Légi csata az első világháborúban

Forrás: PILCH et al. 1916 és NYE 2021 alapján a szerző szerkesztése

1917-ben már a németek is a merevszárnyas repülőket kezdték előnyben részesíteni. Az éjjeli támadások bevetési vesztesége minimalizálható volt, mivel éjszaka a vadászrepülőök ellentámadása igen nehéz, míg a légvédelmi tüzesczökök hatása éjjel csökken. Csak fényszökök és fülelő készölekek voltak a második világháborút megelőző évek védekezési lehetőségei.³

² WIGGAM 2011: 50–51.

³ FABINI 1937: 97.

A német Zeppelinek bombái ellen már alkalmazták az elsötétítést, bár ekkor még elsősorban dimmelték („homályosították”), illetve gyengítették a fényforrásokat. Párizsban 1915-ben csökkentették az utcai világítást,⁴ és 1916-ban teljeskörűen is elrendelték.⁵

A polgári lakosság hozzáállása a politikai berendezkedés és az ideológiai meggyőződések függvényében változott. A nagy háború után (a második világháborúig így nevezték az első világháborút) hamar nőtt a légi járművel megtehető távolság, valamint a szállított légi teher nagysága, ahogy a felszereltség és a fegyverzet is hatalmasat fejlődött. A haditechnikai újításokról a hétköznapi emberek is hallhattak, az 1920-as években egyre gyakrabban vált vezető politikusok témájává a légi veszély. Legjobban Stanley Baldwin brit miniszterelnök szavai jellemzik a kor uralkodó felfogását ezzel kapcsolatban, aki jóval a baszk város, Guernica bombázása (1937. április 26.) előtt borús hanggal jegyezte meg, hogy nézzünk szembe a ténnyel, bármit is teszünk: „a bombázók mindig keresztüljutnak.”⁶ A közvélemény egyre többször szembesült a légitámadások kiterjedésével; hogy egy légitámadás mit jelenthetett, arról nem lehetett kétsége a lakosoknak, ezekről az eseményekről az újságok és a mozgóképek (többek között a Magyar Filmhíradó) is beszámoltak, nem beszélve arról, hogy sok helyen élt még a városok elleni támadások emléke.

A francia–marokkói úgynevezett rif háborúban (1921–1926) a repülő gázbombát dobtak le,⁷ 1932-ben a brit légiőrség Észak-Irakban a kurdokat bombázta, illetve 1935–1936 között az olasz légiőrség bevetették az abesszíniai hadműveletben. Ahogy a németek a Condor légiót vetették be Spanyolországban, úgy a japánok Csungkingban hajtottak végre pusztító bombázásokat, valamint a kínai partok ellen, Sanghajban, Nankingban és Kantonban. A légiőrség mind támadó, mind védő fegyvernemként békében is egyaránt nagy jelentősége volt a kis- és nagyhatalmak számára.

Nagy-Britanniát ebben az időben a fatalizmus és az apátia jellemezte. A politikusok számára a „flegmatikus” többség nem adott okot az optimizmusra. Angliában az elsötétítés 1927-ben bekerült ugyan a közbeszédbe, azonban a britek háborúhoz való hozzáállása miatt viszonylag későn kezdődött a polgári lakosság általános kiképzése.

A locarnói egyezményt követően az 1926-ban kötött szovjet–német szerződés, valamint nem sokkal később a párizsi Vöröskereszt-konferencia is elismerte a nemzetközi konfliktusok békés rendezéséről szóló egyezményt, valamint az önvédelemre való jogot, amit a Kellogg–Briand-paktum is rögzített. Ahogy a latin mondás tartja (*Si vis pacem, para bellum*, azaz Ha békét akarsz, készülj a háborúra! – Vegetius), úgy valósultak meg a nemzetközi pacifista törekvések, a béke időszaka pedig a háborúra való készülés jegyében telt el.

1927 után Németországban kialakult a polgári (passzív) légvédelem (Luftschutz) elmélete, és hamar elterjedt a gyakorlata is. Az 1920-as évek végétől Magyarországon is foglalkoztak vele az újságok, és olvashattuk, hogy a jövő háborújának sorsa a levegőben fog eldőlni. „Nemcsak hadseregek fognak küzdeni, hanem népek állnak majd harcban egymással, mert a robbanó, gyújtó- és gázbombákkal súlyosan megterhelt repülőrajok a háború borzalmait áthozzák

⁴ Párizsban félnek a Zeppelinektől 1915.

⁵ WIGGAM 2011: 51.

⁶ MACKAY 2002: 19.

⁷ KUNZ–MÜLLER 1990: 14–35.

a határok fölött az ország belsejébe is.⁸ Az újságok beszámoltak a borzalmakról és a szenvedésekről. A polgári lakosság jól tájékozott volt, és a fenyegetettségről alkotott vélemények katonai újságban, egyetemi vagy napilapokban is megjelentek. Később a hazánkhoz közeli események – mint Lengyelország vagy Belgrád bombázása a második világháború során – már közvetlen tapasztalatot szolgáltattak idehaza is. Általános volt a megítélés, hogy „lyukas légtérrel várjuk az ellenséget, miközben észak–déli irányban harminc, kelet–nyugati irányban kilencven perc alatt lehetett átrepülni felettünk”⁹ (4. kép).



4. kép: Magyarország légi fenyegetettsége a második világháború előtt

Forrás: SIPOS 1936

Németországban a technokrata hozzáállás és a más országok általi fenyegetettség víziója állt a középpontban. Veszélyeztetettség szempontjából a németek a nyugati határtól bizonyos távolságig (az első világháborúban 150 km) tartották jelentős mértékűnek a kitettséget, amire képest a britek a veszélyeztetés mértékétől függően 3 részre osztották fel az országot. Mi sem mutatta jobban a helyzet komolyságát – a lapok is megírták, és számos külföldi ország képviselője is részt vett –, hogy 1932-ben a Vatikánt is érintő átfogó elsötétítési gyakorlatot tartottak Olaszországban, továbbá még az évben a németek Königsbergben. 1935-ben Franciaországban, kicsit később Berlinben,¹⁰ majd Bécsben 1936-ban, továbbá Angliában, Portsmouth és Southampton kikötőkben 1938-ban tartottak nagyszabású elsötétítési és légvédelmi gyakorlatot, amiről a brit sajtó is beszámolt. 1936-ban Budapest belvárosában részleges elsötétítési és 1937-től országos gyakorlatok voltak, majd 1939. szeptember 2-től kezdve rendszeresen, minden szombaton az ország összes szirénája megszólalt.¹¹

⁸ CZIEGLER 1929: 526.

⁹ GAZSÓ 2023.

¹⁰ NÉMET 1935: 3.

¹¹ *Megjelent a légvédelmi riasztó rendelet 1939: 7.*

Az új fegyverem a civil társadalomra veszélyt és szenvedést jelentett. Roosevelt amerikai elnök felszólította a nemzeteket, hogy mondjanak le a légi hadviselésről, és szüntessék be a katonai repülőgépek gyártását.¹² Semmi nem szemlélteti jobban a kialakult gondolkodást, mint Göring német birodalmi tábornagy szavai, amikor „mindenki becsületbeli kötelességének” nevezte a légoltalmat.¹³ Idehaza is olvashatták az újságban, hogy az a nemzet, amely a „legfegyvermezettebb, az fogja megnyerni az új világrendért vívott háborút”¹⁴ (5. kép).



5. kép: A légi veszélyre figyelmeztető plakát (Légoltalmi Liga)

Forrás: a szerző gyűjteménye

Hazánk légitámadás-kitettsége a második világháború előtt és alatt

1918-ban a Bécszet ért olasz légitámadás után elrendelték Budapest légvédelmének kiépítését is, mert még figyelő szolgálatunk sem volt idehaza.¹⁵ Magyarországot tekintve – a frontvonalon kívül – nem is volt tapasztalat az első világháborúból, de idehaza azért foglalkoztak az új harceszközökkel és lehetőségekkel, ha a politikai helyzet, a békediktátum vagy a gazdasági világválság nem is tette lehetővé a tervek, illetve a politikai akarat végrehajtását.¹⁶ Az újságok 1928-ban a londoni és a francia légi gyakorlatról és tanulságairól részletesen beszámoltak. A légierővel fenyegetettség a hazai szakirodalomban is jól ismert volt, no meg az, hogy

¹² *Ne legyen több katonai repülőgép* 1937: 4.

¹³ ROXER 1936: 148–149.

¹⁴ A Légoltalmi Liga országos közgyűlése 1943: 169.

¹⁵ CSONKARÉTI–SÁRHHIDAI 2010: 65.

¹⁶ DOMBRÁDY 1977: 5.

a főváros és a legfontosabb ipari körzetek néhány percnyi repüléssel elérhetőek.¹⁷ A természeti adottságok, mint a folyó menti elhelyezkedés vagy a jellegzetes domborzat sem jelentett előnyt, mivel ezek éjjel igen jó iránymutatók voltak a főváros felé, amely ütőérenként működött, és az ellene esetlegesen sikeresen végrehajtott légitámadás országos bénulást okozhatott.¹⁸ A légi hadviseléssel kapcsolatosan Magyarországon egyöntetűen érzékelhető volt, hogy ezen vizsgálódások alapján alakíthatók ki a megfelelő ellenrendszabályok.

A felkészülés természetesen csak spekulatív módon történhetett. Ha az elsötétítéssel kapcsolatos írásokat tekintjük, már meglehetősen korán megfogalmazódott hazai szükségessége. Petróczy István 1930-ban röpiratban kiáltványt bocsátott ki *Veszélyben minden magyar város*¹⁹ címmel, és összeállította *Az üzemek és gyárak légvédelmi parancsolatait*.²⁰ Bár ismert volt az éjszakai támadások hatékonysága, akkoriban a gáztámadást tartották fő veszélynek.²¹ Ha az európai országokhoz képest késéssel is, de 1935-ben Gömbös Gyulának a légvédelemről szóló kerettörvény-javaslatát tárgyalta a parlament. Az 1935. évi XII. törvénycikk és a 17.176. eln. 15–1936 számú HM rendelet volt hivatott az eddigi lemaradást behozni, amelynek értelmében a „városok és községek, részben a vasutak és kikötők részleges vagy teljes elsötétítésének gyakorlását lehetővé tette.” Szentnémedy Ferenc 1937-es tanulmányában a spanyol polgárháborús eseményekre hivatkozva kiemelte, hogy „bármennyire is vonzzák a nagyvárosok a légitámadásokat, az erélyes védelem, továbbá a szívós kitartás [...] csodákat művelhet.”²² Ebben az évben alakult meg a légoltalmi törvény alapján a Légvédelmi Liga, és később, 1939-ben az Ipari Légoltalmi Iskola, de csak a blei konferencia után – ahol 1938. augusztus 23-án a kisantant államok elismerték Magyarország fegyverkezési jogosságát²³ – történhetek érdemi előrelépések. Megállapítása szerint a veszélyeztetettség igen nagy volt, a fő légi fenyegettetést eleinte a kisantant gyűrűjében, Csehszlovákiában, Jugoszláviában és Romániában látta.

A leendő háborúval kapcsolatban a magyar vezetés szövetségi rendszerben gondolkodott, és igyekezett a többfrontos háborút elkerülni. A katonai fejlesztésekre és polgári feladatok végrehajtására azonban a lehetőségek egyaránt szűkösek voltak.²⁴

Már az 1930-as évek közepén felmerült, hogy szükség lenne egy országos társadalmi szervezetre, amely a lakosság figyelmének felhívásával, légoltalmi felvilágosító munkájával és önvédelemre való mozgósításával segítené az állami szervek tevékenységét. 1937 novemberében a kormány utasítást adott ki a Légoltalmi Liga létrehozására, amelynek központi és helyi tagozatai is voltak. Az országos szervezet december 5-én jött létre. Rögzített célkitűzése az ország lakosságának légoltalmi felkészítése, azok társadalmi támogatása, népszerűsítése volt, illetve megjelentette a *Riadó!* című lapot.²⁵

¹⁷ SZABÓ 1981: 451–452.

¹⁸ CZIEGLER 1929: 528–529.

¹⁹ PETRÓCZY 1930: 2.

²⁰ PETRÓCZY 1932: 137–139.

²¹ SZABÓ 1981: 451.

²² SZENTNÉMEDY 1937: 119.

²³ VERESS 1980: 168.

²⁴ OLASZ 2014: 81.

²⁵ SZABÓ et al. 1995: 78.

A Vezérkari Főnökség az országban egyúttal elkezdte – a honvéd vegyesdandárok területével egyező – katonai légvédelmi kerületek megszervezését.²⁶ Légvédelmi felszereltséget illetően meg kell jegyeznünk, hogy 1943-tól német és magyar gyártású lokátorok, valamint fényszórós ütegek tevékenykedtek, leváltva a „fülelő egységeket”. A magyar–német honi vadászpilóták mellett az ország légterének védelmét a légvédelmi tüzéség látta el.

Az első bombázások 1941-ben történtek; a Jugoszlávia ellen indított támadás során²⁷ Magyarország még nem volt hadviselő fél, amikor a budapestiek életét váratlan légriadó zavarta meg. 1941. április 6-án, a Jugoszlávia elleni német offenzíva megindulásával párhuzamosan a jugoszláv légierő hajtott végre bevetéseket – többek között – Szeged és Pécs felett, így a gépek közeledtére több városban megszólaltak a szirénák.²⁸ 1941. június 26-án Kassát érte ismeretlen eredetű bombázás (ennek ürügyén Magyarország hadat üzent a Szovjetuniónak, vagyis belépett a háborúba), illetve Budapesten 1942 szeptemberében volt éjszakai szovjet légitámadás.²⁹ Az ország területének, ipari, illetve közlekedési csomópontjainak rendszeres és folyamatos bombázása 1944. április 3-án vette kezdetét. Az ország nagyobb települései közül utolsó alkalommal 1945. március 26–27-én Szombathely felett jelentek meg ellenséges repülőgépek. A második világháború során összesen 1024 településünket érte légi bombatámadás.³⁰

A légvédelem megszervezése Magyarországon

Az elsötétítés rendszere a légoltalom keretén belül működött, ami a Honvédelmi Miniszter Légoltalmi Parancsnoksága alá tartozott, és kiegészítette a polgári (passzív) légvédelmet (légoltalom) a hatósági, üzemi, lakossági szolgálat. A vegyesdandár légvédelmi parancsnokságának felügyelete mellett működtek a légoltalmi ipari (üzemi) és városi (hatósági) vezetőségek, illetve parancsnokságok. A légvédelmi tüzérsztyályok alá tartoztak a fényszóró és fülelő egységek. A polgári légvédelem a településeket, a gazdasági és a társadalmi szereplőket is három csoportba sorolta a veszélyeztetettség mértékében. Az országos jelentőségű intézmények és a legnagyobb iparvállalatok közvetlenül az Országos Légoltalmi Parancsnokság, a helyi jelentőségűek pedig a helyi légoltalmi vezető (parancsnok) alá tartoztak. A légoltalmi parancsnok tanácsadó szerve a légoltalmi bizottság volt. A hat egyenrangú légoltalmi alapfeladat közül (6. kép) az elsötétítés csak az egyik volt.³¹ Az elsötétítésnek két fokozatát határozták meg.³² Az egyik a csökkentett világítás, ami minden világításkorlátozás alá eső összes fényforrást

²⁶ VERESS 169.

²⁷ OLASZ 2004: 182–184.

²⁸ A jugoszláv légierő helyzete.

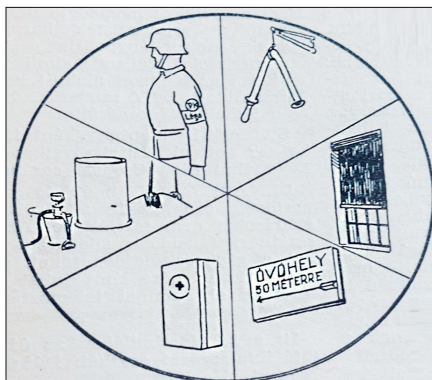
²⁹ *Kilenc halálos áldozata van a szovjet légi orv támadásának 1942: 3.*

³⁰ Légitámadások Magyarország ellen (1944–1945).

³¹ KARTAL 1942: 81.

³² 62.200/eln. lgy.-1938. HM rendelet 2. §.

jelentette, és az ország egészére vagy bizonyos területére is kiterjedhetett.³³ Az elrendelést a honvédelmi miniszter hozta és szüntethette meg.³⁴



6. kép: Hat önvédelmi feladat: 1. riasztás, 2. elsötétítés, 3. tömegvédelem (óvóhelyek), 4. mentés és elsősegélynyújtás, 5. tűzvédelem, 6. rend- és fegyelemfenntartás

Forrás: KARTAL 1942

Különbséget tett a szabályozás a törvényhatósági jogú és megyei városok, illetve a vidék között. Az elsötétítés vidéken és a városokban eltért, a tanyavilágot például sokáig nem vették figyelembe.³⁵ Az ipari vállalatokat (építményeket) három légoltalmi csoportba sorolták a hadvezetés és az állam fontossága szempontjából. Az I. légoltalmi csoportba kerültek a kiemelten fontos állami intézmények, törvényhozási, kormányzati és bírósági épületek, tudományos, oktatási és pénzügyi intézmények, közlekedési és hírközlési létesítmények, közművek, honvédségi és rendőrségi objektumok, a jelentősebb hadiüzemek. A II. légoltalmi csoportba a közigazgatás, közellátás és humán szolgáltatás terén komolyabb szerepet játszó állami és helyi hivatalok, jogi, gazdasági, pénzügyi intézmények, oktatási és egészségügyi létesítmények, kommunális szolgáltatók, kisebb helyi vállalatok kerültek, illetve a légítámadással szemben különösen érzékeny tömegforgalmi helyek és a nemzeti vagyon szempontjából értékes helyi objektumok. A III. csoportba a lakóhelyek és egyéb épületek tartoztak. Ide kellett érteni lakóépület részét képező vagy hozzátartozó néhány fős kisipari műhelyeket, kiskereskedelmi üzleteket, illetve irodákat, amelyek önszerveződése lakóközösséggel együtt történt. Azaz, ha a II. csoportba nem sorolták be vagy felterjesztett kérvény alapján elfogadták annak indoklását. Ezekre a 81.800/eln. lgv.-1940 HM rendelet és a 104.000 eln. 35.-1940. HM rendelet előírásait kellett érvényesíteni.

A településeket A-tól D-ig terjedő kategóriákba osztották fel. A 62.000/eln. lgv.-1938. HM rendelet 6. §. a II. csoportba tartozó intézmények összeírásának formanyomtatványát tartalmazta. A lakosság önvédelmét légoltalmi szolgálatok képezték, és a Légoltalmi Liga játszott

³³ 88.002/eln. lgv.-1939 HM 2. § és 4. §.

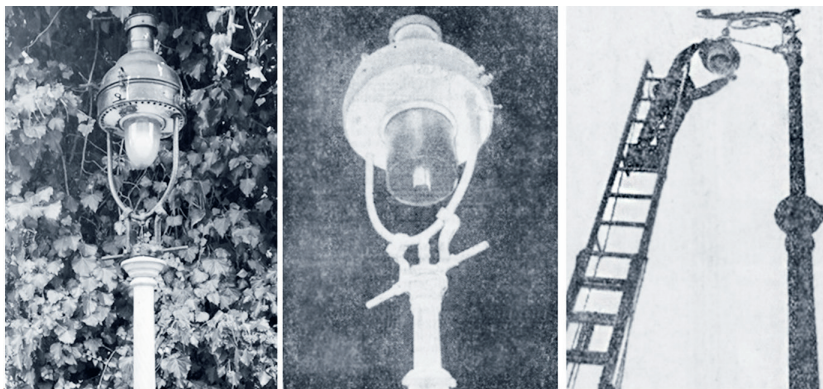
³⁴ 62.200/eln. lgv.-1938. HM rendelet 3. §.

³⁵ 126.773/eln. 36.-1944. számú rendelete 1. §.

szerepet a megszervezésükben és kiképzésükben. Segédleteket készítettek és terjesztettek. A házcsoportok és a házparancsnokok meghatározásában is kivették részüket.³⁶ A Honvédelmi Minisztérium szakmai irányítása alá tartozó Légoltalmi Ligának nagy szerepe volt a propagandában és a népszerűsítésben, a lakóházak, illetve a III. csoportba sorolt építmények ellenőrzésében is. Bekapcsolódtak a kiképzésekbe,³⁷ de az előkészítést a város polgármestere, a község közjegyzője végezte. Ők állították fel a végrehajtó szervezetet, közte az elsötétítő szolgálat közégeit is. A felkészülés részét képező gyakorlatok – a forgalmi fények kivételével – kiterjedtek az állami, a magánvasúti és a hajózási társaságokra. A tűzoltóság szervezete volt a műszaki és tárolási feladatkörbe elsődlegesen javasolt szerv,³⁸ mivel a bombázások okozta tűzkárokból látták a legnagyobb veszélyeket. A lakosságnak „önvédelem” keretén belül saját magának kellett intézkednie kijelölve a vezetőket. Az eszközök beszerzéséről a bérleményen belül a bérlő, az épülettulajdonos köteles volt gondoskodni. Az állami (önkormányzati) tulajdon esetében tulajdonuk arányában feleltek.

A védekezéshez terveket készítettek, és azt a kidolgozás után (a közbiztonságot érintően) a helyi rendőrséghez kellett benyújtani, majd a hadsereg³⁹ hagyta jóvá az engedélyt. A légvédelmi terveket tekintve a készítésre kötelezett szervezetnek légoltalmi és készülségi tervet kellett összeállítaniuk. Az átalakítás költségeit szerződés vagy megállapodás hiányában a tulajdonos viselte. A sorolt ipartelepek együttműködésre és kölcsönös segélynyújtásra voltak kötelezhetők.⁴⁰

Tarkította a képet, hogy ekkor a gáz közvilágítás-célú felhasználása még jelentős volt. Budapesten például a józsefvárosi légszeszgyárból a Lánchídon áthaladó vezeték látta el Budát, ahol 1866-ban létesült gázgyár, és ellátta Óbudát, majd 1913-ra itt szintén gázgyár létesült, amely 1914-ben kezdte el működését és biztosította a gázszolgáltatást⁴¹ Budapesten (7. kép).



7. kép: Auer-gázlámpa és utcai elsötétítése

Forrás: a szerző összeállítása (saját és Az Est képei alapján)

³⁶ LÁZÁR 2003.

³⁷ Itt a 4.740/1943. M. E. számú rendelet alapján.

³⁸ 62.000/el. lgy.-1938. HM rendelet 17. §. és 20. §.

³⁹ KÓKAY 1996: 218.

⁴⁰ 62.300/el. lgy.-1938. számú körrendelet 4. §.

⁴¹ URBAN et al. 2012: 29, 55.

A sötétbe burkoláshoz számos technikai kérdést és módszert kellett tisztázni, amiből a világítástechnikai szakemberek is kivették a részüket. Az elsötétítés érintette a köz- és magántulajdont is. Szabályozta a megmaradó fényeket, meghatározta a békebeli gyakorlatok szabályát és a háború követelményeit. Kiterjedt a közlekedésre, szabadban végzett tevékenységre, üzemekre, lakóhelyekre, figyelembe kellett venni az adottságokat, mint az éjjel és a nappal kezdetét, a természetes fény szükségességét és a kiszűrődésének lehetőségét, módját. A legszélesebb társadalmi szabályozással rendelkezett, be nem tartását szankcionálták. Már a 62.200/eln. lgy.-1938. HM rendelet 2 hónapig, háború idején pedig 6 hónapig terjedhető elzárást helyezett kilátásba a rendbontókkal szemben.⁴²

Nagy felelősség hárult a lakosságra. Egyes alkalmazott eszközöknek minőségi követelményeknek is meg kellett felelniük. A közlekedési eszközök fénycsökkentő berendezéseinek bevizsgálási díját a Haditechnikai Intézet határozta meg.⁴³ A ház (házcsoport) légvédelmét a lakóknak kellett megszervezni. Az új épületek, átalakítások és bővítések, új járműtípusok, új világítási rendszerek épületen belüli és kültéri tervezésénél és kivitelezésénél figyelembe kellett venni az elsötétítés követelményeit.⁴⁴ Mindez a városok üzemeltetését és a városrendezést is érintette, amire javaslatok is születtek.⁴⁵ A hatóságok riasztása esetén a köz védelmével (közületekkel) foglalkoztak, a polgároknak a saját védelmükről kellett gondoskodniuk. Az elsötétítés kereteit különböző rendeletek képezték, de szakmai utasítások segítségével részletezték őket. Az életet érintő korlátozások a szabadterekre, közlekedésre, illetve épített környezetre és azok beltéri részeire oszthatók, de a követelményekben a városokban és faluhelyen voltak különbségek.⁴⁶

Ipari munkahelyek elsötétítése

Az ipartelep megnevezés alatt bányákat és kohókat, közhasználatú energiaszolgáltatót és vízműveket, illetve ezek területén található, vagy velük összenőtt épületeket, beleértendő lakóépületeket kell érteni. Ezeket a honvédelmi miniszter és az iparügyi miniszter sorolta csoportokba gazdasági, honvédelmi vagy egyéb szempontból. Az elsötétítés szabályait az I. csoport önállóan alkotta meg. Közös kiépítésre és fenntartásra kötelezhetők, de elsötétítés tárgyában együttműködésre utasíthatók.⁴⁷ A szervezeti felépítést tekintve a légoltalmi vezető, légoltalmi parancsnok vagy parancsnokhelyettes, illetve a személyzet végrehajtó és passzív személyzetre tagolódhatott, de a szerepek összevonhatók voltak.

⁴² 62.200/eln. lgy.-1938. HM rendelet 16. §. és 17. §.

⁴³ LÉGO. UT. (Elsötétítés 3. füzet) 1940: 95–98.

⁴⁴ LÉGO. UT. (Elsötétítés 1. füzet) 1939: 8.

⁴⁵ GÁLÓCSY 1930: 2.

⁴⁶ JASZTRAB–ISTÓK 2021: 30–32.

⁴⁷ 62.300/eln. lgy.-1938. számú körrendelet 1. §, 2. §, 3. §, 4. §.

A légítámadás alatt a munkavégzés folytatásának lehetőségét biztosítani kellett. A munkahelyek, mint a kereskedelmi, bányá- és ipari irodák érintettek voltak, ilyen támadásra különböző módon, de tervszerűen készültek fel. A közhasználatúnál, ahogy az I. és II. légoltalmi csoportba sorolt ipari üzemek fényeinek elsötétítését az illető ipari üzem jóváhagyott légoltalmi terve alapján kellett végrehajtani. A lehetőség mérlegelése azért volt fontos, hogy a túlzott költségeket elkerüljék. A második légoltalmi csoportba sorolt ipartelepek ezt leegyszerűsítve hajthatták végre. A légoltalmi tervek III. fejezetében kellett rögzíteni az „elsötétítő szolgálat”⁴⁸ feladatait, de a X. fejezetbe került a burkolás és rejtés mellett az elsötétítés módja. Az irányfények és szükségvilágító eszközök szintén ennek a részét képezték. A feladatok érdekében kiképzést és gyakorlatot tartottak, ami a veszélyezett és érintett körzeteket is magába foglalta.⁴⁹ A részletesség segítette a hatóságok munkáját, a légoltalmi szervezet megismerését. A kiterjedt gyártelepek, kohók, bányák több körzetre való felosztását célszerűnek tartották. 1939-ben „a legegyszerűbb és leggazdaságosabb”⁵⁰ megoldást javasolták. A kiépítést az üzem természetéhez kellett igazítani a „nagy különbözőségek” okán, hogy a megvalósítást az üzem jellegének és műszaki vagy egyéb adottságainak megfelelően hajthassák végre. Az I. és II. légoltalmi csoport önálló légoltalomra kötelezettjei az iparügyi minisztériumba nyújtották be a tervüket,⁵¹ de amíg a I. csoportba soroltak ügyében a honvédelmi miniszter, addig a II. csoportba soroltakéban a (hadtest) kerületi honvédelmi légoltalmi parancsnok járt el.⁵² A II. csoportra a 88.020/el. lgv.-1939. számú HM rendelet vonatkozott.

A végrehajtásban késlekedés volt tapasztalható Magyarországon. A rendelet már 1939-ben kijött az ipari üzemeket illetően az I. és II. légvédelmi csoportba sorolt vagyontárgyak légoltalmának megszervezésére, azonban a II. légoltalmi csoportot tekintve⁵³ 1940-ben az erre vonatkozó rendelkezést felfüggesztették, és csak 1942-ben kezdődött el újra a megszervezés.⁵⁴

Általánosságban elmondhatjuk, hogy az ipari munkahelyeknek számos fajtája létezett. Az épületek ajtóit, ablakait (udvari és lépcsőházi ajtókat és ablakokat is) és minden egyéb fénysugárzó, illetőleg fénykibocsátó felületet oly módon kellett elfüggönyözni, vagy olyan berendezésekkel (például fényzsilipekkel) ellátni, továbbá a belső fényforrásokat úgy ernyőzni, és az azokból sugárzó fény mennyiséget úgy csökkenteni, hogy az épület belsejéből még az ajtók és ablakok vagy más nyílást záró szerkezet nyitásakor se szűrődhessék közvetlenül érzékelhető fény a szabadba⁵⁵ (8. kép).

⁴⁸ MAKAY HOLLÓSY 1938: 7.

⁴⁹ MAKAY HOLLÓSY 1938: 11–13.

⁵⁰ MAKAY HOLLÓSY 1938: 4.

⁵¹ 106/Ekb.-1937. számú rendelet értelmében.

⁵² KÓKAY 1996: 218.

⁵³ A 62.000/evi. lgv.-1938. HM rendelet 12. § szerint már megtörténhetett, de a 88.010/el. lgv.-1939. HM rendelet részletezte.

⁵⁴ LEGO. UT. III.-2. utasítás értelmében.

⁵⁵ 88.002/el. lgv.-1939. számú rendelete 5 §.



8. kép: Illusztráció elsötétített, éjjel is termelő, üzemekről

Forrás: a szerző fényképei

Az elsötétítéssel kapcsolatos alapvetések, jogszabályok

Az elsötétítés a fényforrásra és a fénykimeneti nyílásokra vonatkozott: ami lehetett a világítótest és armatúrája, vagy lehetett minden olyan ablak, ajtó, tetőablak, üvegtető, üvegfal és egyéb épület és jármű nyílása, ahonnan a fény kifelé hatolhat, de akár minden fényt kibocsátó test és fényt előállító folyamat, beleértve minden olyan berendezést, amely a fényforrásokkal műszaki egységet alkot. Fő elve a szabályozásnak az volt, hogy mindenféle fényforrás tompítható a fényhatás (fényáram) csökkentésével vagy a fénykibocsátás területének korlátozásával.⁵⁶ Teljes elsötétítést vagy csökkentett világítást rendelhettek el.⁵⁷ Az előírások betartására elsötétítő szolgálat jött létre.⁵⁸

Idehaza az előírásokat a Magyar Királyi Honvédelmi Minisztérium adta ki, és a *Budapesti Közlöny*ben is megjelentek, amely a kormány hivatalos lapja volt a második világháború végéig,⁵⁹ de érdemes megjegyezni, hogy a miniszteri rendelkezések mellett egyes vármegyék megerősítő rendelkezéseit is kiadták⁶⁰ (1. táblázat).

⁵⁶ 1939 (RGBl. I S. 965) Vom 23. Mai Achte Durchführungsverordnung zum Luftschutzgesetz 11 §.

⁵⁷ JASZTRAB–ISTÓK 2021: 28.

⁵⁸ Először 1938-ban, amit a 88.002/eln. lgv.-1939 HM számú rendelet módosított.

⁵⁹ Budapest bekerítéséig.

⁶⁰ Mint például Pécssett az alispán a 6697/alisp. 1944. számú körrendelet a légoltalmi elsötétítésnek 1944. április 3-ától történő szabályozásával kapcsolatban vagy a 7490/alisp. 1944. számú körrendelet.

1. táblázat: Az elsötétítés jogszabályai Magyarországon

Rendelet száma	Rendelet neve	Megjelenés helye, ideje	
17.176/el. 15-1936 HM	A légvédelemről szóló 1935. évi XII. törvénycikk végrehajtása tárgyában	Budapesti Közlöny	1936: 182.
62.200/el. lgy.-1938 HM ⁶¹	A légoltalmi elsötétítő szolgálat tárgyában	Budapesti Közlöny	1938: 215.
88.002/el. lgy.-1939 HM ⁶²	A légoltalmi elsötétítő szolgálatról	Budapesti Közlöny	1939: 172.
88.082/el. lgy.-1939 HM	A közvilágítás légoltalmi elsötétítését szabályozó utasítás kiadása. Légoltalmi utasítás III.-1 (Elsötétítés 1. rész)	Budapesti Közlöny	1939: 214.
88.051/el. lgy.-1939 HM	Gépjárművek légoltalmi fénycsökkentő berendezések előírásai, kereskedelmi forgalma, használata	Budapesti Közlöny	1940: 19.
81.800/el. lgy.-1940 HM	A III. légoltalmi csoportba tartozó építmények légoltalmának szabályozása.	Budapesti Közlöny	1940: 111.
81.200/el. lgy.-1940 HM	A légoltalmi cikkek előállításának és műszaki megvizsgálásának szabályzásáról	Budapesti Közlöny	1940: 130.
81.900/el. lgy.-1940 HM	A légoltalmi elsötétítő szolgálat (épületek elsötétítése) ellátására kiadott utasítás tárgyában. Légoltalmi utasítás III.-2 (Elsötétítés 2. rész)	Budapesti Közlöny	1940: 116.
83.000/el. lgy.-1940 HM	A közúti járművek és forgalombiztonsági fényforrások elsötétítésére szolgáló utasítás kiadása. Légoltalmi utasítás III.-3 (Elsötétítés 3. rész)	Budapesti Közlöny	1940: 156.
104.444/el. 35-1941 HM	Belső fények a vendéglátó-ipari üzemek nyári helyiségeiben	Budapesti Közlöny	1941: 142.
104.250/el. 35-1941 HM	Légoltalmi utasítás III. (Elsötétítés 2. rész) II. kiadása	Budapesti Közlöny	1941: 157.
134.800/el. 35-1942 HM	A gépjárművek légoltalmi fénycsökkentő berendezések előírásai, kereskedelmi forgalma, használatának módját szabályozó módosításáról 88.051/ eln. lgy.-1939 HM számú rendelet módosítása	Budapesti Közlöny	1942: 44.
139.100/el. 35-1942 HM	Légvédelmi riadó alatt közlekedésre jogosult gépjárművek megkülönböztető világító jelzés	Budapesti Közlöny	1942: 218.
128.000/1942 BM	Légvédelmi készségség idején a közúti közlekedés biztonságának előmozdítása	Budapesti Közlöny	1942: 245.
140.800/el. 35-1942 HM	A légoltalmi elsötétítésnek 1942. évi november hó 23-tól történő szabályozása	Budapesti Közlöny	1942: 266.
162.400/el. 35-1943 HM	Légvédelmi riadó alatt közlekedésre jogosult gépjárművek megkülönböztető világító jelzés kiadott 139.100/el. 35-1942. HM számú rendelet módosítása	Budapesti Közlöny	1943: 64.
163.163/el. 35-1943 HM	Légoltalmi elsötétítésnek 1943. évi március hó 29-től történő szabályozása	Budapesti Közlöny	1943: 69.
164.600/el. 35-1943 HM	A légoltalmi elsötétítésnek a jelen rendelet hatályába lépésének napjától (V. 22.) szabályozása	Budapesti Közlöny	1943: 115.
166.100/el. 35-1943 HM	A vendéglátó-ipari üzemekben honi légvédelmi készségség idején a belső irányfények használatának újabb szabályozása	Budapesti Közlöny	1943: 154.
167.600/el. 35-1943 HM	A légoltalmi elsötétítésnek a jelen rendelet hatályába lépésének napjától (IX. 06.) szabályozása	Budapesti Közlöny	1943: 203.
167.901/el. 35-1943 HM	A légoltalmi elsötétítésnek f. évi október hó 4-étől érvényes szabályozása	Budapesti Közlöny	1943: 221.
120.300/el. 35-1944 HM	A légi veszélynek és a „zavaró repülés”-nek rádió után való közlése	Budapesti Közlöny	1944: 59.
120.700/el. 35-1944 HM	A légoltalmi elsötétítésnek 1944. évi április hó 3-ától történő szabályozása	Budapesti Közlöny	1944: 75.
121.121/el. 35-1944 HM	A légoltalmi elsötétítésnek 1944. évi április hó 17-étől történő szabályozása	Budapesti Közlöny	1944: 85.

⁶¹ 62.000 és 62.300 /eln. lgy.-1938. számú rendeletek is fontos követelményeket rögzít elsötétítés megszervezését illetően.

⁶² A korábbi hatályon kívül helyezte.

Rendelet száma	Rendelet neve	Megjelenés helye, ideje
121.600/el. 35-1944 HM	A légoltalmi elsötétítésnek 1944. évi május hó 1-jétől 1944. évi július hó 2-áig történő szabályozása	Budapesti Közlöny 1944: 97.
124.900/el. 35-1944 HM	A légoltalmi elsötétítésnek 1944. évi szeptember hó 4-étől 1944. évi október hó 1-jéig történő szabályozása	Budapesti Közlöny 1944: 201.
125.500/el. 35-1944 HM	A légoltalmi elsötétítésnek 1944. évi október hó 12-étől 1944. évi október hó 29-éig történő szabályozása	Budapesti Közlöny 1944: 217.
126.300/el. 35-1944 HM	A légoltalmi elsötétítésnek 1944. évi október hó 30-ától 1944. évi december hó 3-áig történő szabályozása	Budapesti Közlöny 1944: 243.
126.750/el. 36-1944 HM	Az ellenséges légitervekenységgel kapcsolatos jelzéseknek a közforgalmú utakon közlekedő személyek és járművek vezetői részére történő közlése	Budapesti Közlöny 1944: 275.
126.773/el. 36-1944 HM	A légoltalmi elsötétítésnek 1944. évi december hó 4-étől 1944. évi december hó 31-éig történő szabályozása	Budapesti Közlöny 1944: 275.

Forrás: a szerző szerkesztése a Budapesti Közlöny alapján

A légvédelemről szóló 1935. évi XII. törvény keltette életre az elsötétítést Magyarországon, és annak végrehajtása 17.176. eln. lgy.-1938 HM rendelet, illetve az elsötétítési szolgálatot tekintve 62.200/el. lgy.-1938 HM rendelet volt az első szabályozás, amit 1938-ban újra szabályozták. Ezután az elsötétítés általános elveit, magánjogi, közigazgatási és rendészeti természetű részleteit a honvédelmi miniszter 88.002/el. lgy.-1939. számú rendelete határozta meg. Ennek végrehajtását kiadott utasításokban rögzítették. A szabályozást tekintve kiterjedt a közvilágítás fényeire, a közúti és egyéb járművek világítására, lakóházak és egyéb épületek (a középületek, áruházak, ipartelepek stb.) fényeire, valamint a különleges fényekre, olyan eljárásokat, ajánlásokat dolgoztak ki,⁶³ amelyek a körülményekhez igazodtak. Az elsötétítést érintő eszközök az alábbiak szerint csoportosíthatók:

- közvilágítás fényei;
- közúti és egyéb járművek világítása;
- lakóházak, áruházak, középületek és ipartelepek vagy egyéb okokból származó fények;
- különleges fények.

Elsötétítésméletek és -gyakorlatok hazánkban

A háborús elsötétítéssel magyar nyelvű íráskor közül először nem a hadi tanulmányok, hanem a külföldi eseményekkel kapcsolatos újság- és rádióhírek foglalkoztak. A kor szelleméhez méltóan azonban a katonai lapok oldalán is, meg a műszaki újságcikkekben is megjelentek, amelyek száma az 1930-as évektől kezdve csak nőtt. A *Miskolci Estilap* például 1935-ben részletesen beszámol a külföldi elsötétítési gyakorlatokról.⁶⁴

Közvetlenül a világháború előtt az elsötétítés témájával azonban már számos civil szakember foglalkozott, közülük ki kell emelni – a világítástechnikai szakemberek tekintetében – Pillitz Dezsőt, aki a világítás technika tudományos oldaláról vizsgálta az elsötétítést. Gregor Aladár

⁶³ JASZTRAB–ISTÓK 2021: 30.

⁶⁴ L. V. 1935: 3–4.

előadása *A légóltalmi elsötétítés világítástechnikája* címen népszerűsítette az ismereteket, vagy az 1939-ben megjelent *Az elsötétítés alapvető fénytechnikai fogalmai és számítási módszerei* című művében szintén részletesen foglalkozott a témával és megoldásokkal, ahogyan még sokan mások, mint például Mohay Ádám, aki hasznos tájékoztatókat írt. A készülő légóltalmi utasítások fogalmazásából pedig a Liga mellett a Világítástechnikai Állomás is kivette részét.

A katonairók közül Giczey György és Petróczy István elemezték a témát, illetve javaslatokat dolgoztak ki. Cziegler István felismerése szerint az elsötétítés hatékony, ha idejekorán megtörténik. Javasolta, hogy a közvilágítás lekapcsolása a város légvédelmi központjából történhessék, ám a vasúti forgalom nem állhat le.⁶⁵ Fabini Tivadar jól látta, hogy az éjszakai bombázó támadást – mivel igen hatásos – gyakrabban alkalmazzák. Az irány- és vakrepülést megoldottnak tartotta, mégis úgy vélte, az elsötétítés a „nekirepülést mégis megnehezíti és a célpont felismerését, helyének pontos megállapítását szinte kizárja.” A városokban lévő túlvilágítást, mint a kettős utcai világításokat (villany, gáz), a kirakatokat, fényreklámokat fényorgiának nevezte, és hazafiatlannak tartotta. Teljes elsötétítés során az legyen a cél, hogy a külső világítás szinte „csapásszerűen” megszűnjék. Felismerte, hogy a központi áramot nem szabad (nem lehet) kikapcsolni. A villanyáram teljes kikapcsolását olyan helyiségekben lehet végrehajtani, ahol fontos üzemek, kórházak nincsenek. Csak különösen forgalmas, illetve veszélyes útsomópontoknál, útszakaszoknál szabad tompított fényű és leplezett „iránylámpákat” égve hagyni. Ugyanez vonatkozik pályaudvarokra és ipartelepekre. Úgy tartotta, egy nagyobb – a repülés irányában fekvő – területre kell a teljes elsötétítést elrendelni, hogy a repülő tájékozódását megnehezítsük, és az esetleges célpont-megállapítást megakadályozzuk. Véleménye szerint az utcai járműközlekedést be kell szüntetni, továbbá a járműveket eloltott lámpákkal az út szélére kell állítani, hogy a mentők és tűzoltók közlekedését ne akadályozzák. Ugyanakkor fontosnak tartotta, hogy szabályozás ne zavarja feleslegesen az életfolyamatot.⁶⁶

A rendvédelmi szervek hozzáállását is fontosnak tartom vizsgálni, hiszen az elsötétítés betartatása az ő dolguk volt. Foglalkoztak a közvilágítással és a kéklámpák használatával,⁶⁷ a központi lekapcsolással. Az épületek és lakások világításának megszüntetése a lakosság és az üzemek kötelességét képezte, amelyet „berepüléssel” kell ellenőrizni. A siker záloga pedig nagy fegyelmettséget és számos előzetes gyakorlat megtartását igényli.⁶⁸ Dánfy Mihály a megtévesztő berendezések használhatóságát is kiemelte, amelyek hetekig is magukra vonták az ellenség tüzét. Ezért javaslata szerint a „szakszerű közegek irányítása mellett, a harcászati helyes és valószínű helyen, az elérendő célnak megfelelő méretben eszközendő”.⁶⁹

A rejtés mellett az álcázás (régiesen: fedező védelem) szintén szerepel a magyar propagandaújságok cikkeiben, és olvashatjuk a természetes, valamint a mesterséges eszközök szerepét is. A „fáknak beültetése igen jó szolgálatokat tesz, különösen alacsonyabb létesítményeknél. A leplezés egy további módja az álépítmények létesítése, melyek szintén a támadó fél megtévesztését szolgálja azáltal, hogy a repülő figyelmét és bombáit magukra vonják” – írta

⁶⁵ CZIEGLER 1929: 529.

⁶⁶ FABINI 1937: 95–97.

⁶⁷ *Ismét alkalmazni kell a légvédelmi elsötétítést* 1940: 2.

⁶⁸ N. K. 1936: 211–212.

⁶⁹ DÁNFFY 1931: 24–25.

N. K. (feltételezhetően Németh Kálmán).⁷⁰ Gabossy László a szükségvilágításról leírta, hogy erre legjobban az egészséges, erős fényt adó petróleum- vagy gázlámpák felelnek meg, amelyekhez eszközönként 25–30 üzemórára valót is be kell szerezni. Mellettük azonban célszerű még néhány jó minőségű villanylámpát is beszerezni szárazelemekkel. Javasolta, hogy a feltűnő, piros cserepes tetőzetet szabálytalan zöld, sárga és barna foltokkal fessék be (9. ábra). Szerinte a lapos tetőket gyeptéglákkal is kítűnően lehet leplezni, illetve ha a város határán, be nem épített területeken, megfelelő elrendezéssel lámparendszert létesítenek, akkor azok a repülőlégi tájékozódását megnehezítik, és támadásukat üres térségekre irányíthatják.⁷¹

Az oktatási anyagok közül jelentős Papp J. Ottó *Légvédelmi ABC*-je vagy a *Légoltalmi kézikönyv (1–7. füzet)* című műve. A hazai lakosság nevelését szolgálta Sipos Béla *Honi légoltalom* könyve, vagy a légvédelmi napok keretén belül levetített oktatófilmek, filmhíradók; a Légvédelmi Liga *Légvédelem zsebnaptárral*, *Légoltalmi Kalauzzal* és a *Riadó!* folyóirattal nyújtott tájékoztatást. A felvilágosító anyagok és kiállítások, képzések hatásaként Aujeszky László szerint a lakosság egész tömege aktív támogatója lett a hadviselésnek. A vegyi gyárakban dolgozó nők és a lövedékek töltésével megbízott kiskorúak ugyanolyan veszedelmes munkát végeztek, de meglátása szerint is a városi lakosság ellen intézett könyörtelen légitámadás a jövő háborújában nem kerülhető el. Tanulmányában azonban leírja, hogy a fővárost sem a mesterséges köd, sem az elsötétítés nem fogja kielégítően leplezni, mert jellegzetes hegyformái a felismerést segítik.⁷²

A 62.300/eln. lgv- 1938. számú körrendelet 29. §-a kötelezte az iparfelügyeletet, hogy az I. légoltalmi csoportba sorolt ipartelepek tekintetében az építési engedélynél a légoltalmi követelmények betartására figyelemmel legyenek. Szabó László jó példának tekintette a balatonfűzfői gyárat, amit a repesz- és gyújtóbombákkal szemben a föld alá építettek.⁷³ Figyelemre méltó az első teljes elsötétítési gyakorlat Szegeden, ahol a polgármester hirdetményében a fontos tudnivalók között a lakosság és a közművek mellett a kórházi feladatoknak is szentelt figyelmet. Mint a nemrég elhunyt kiváló hadtörténészünk, Szabó Miklós írta, „az elméleti fejtegetések idehaza az említett jogszabály megszületésével megszűntek, ám a háború sodrával tovább finomodtak”.⁷⁴

Hazai elsötétítési gyakorlatok a háborúba lépés előtt

A légoltalmon belül az elsötétítés vitathatatlanul a civil társadalom kérdéskörébe illeszthető, ami egyben a katonák számára is szervezési, műszaki, lélektani feladatokat jelentett. A háború érintettsége miatt a polgári lakosság magatartása a korábbinál fontosabb tényező lett. A társadalom és az állam közti viszony szorosabbá vált, amiben a kommunikáció módját is érintette a szabályozás. A trianoni revízió hatására nagyobb szerep jutott a közösség építő

⁷⁰ N. K. 1936: 211.

⁷¹ GABOSSY 1939: 160.

⁷² AUJESZKY 1935: 505, 510, 513.

⁷³ SZABÓ 1931: 2–3.

⁷⁴ SZABÓ 1981: 477.

jellegének, a hazafias propaganda révén az egyéni szerepvállalásnak, de ne feledjük a szabályzás kényszerítő erejét sem, mert aki nem követte az elsötétítési rendszabályokat, az az 1935. évi XII. t.c. 4. § alapján 2–6 hónapig terjedhető elzárással vagy az 1928. évi X. t.c. rendelkezéseit figyelembe vevő pénzbírsággal volt büntethető, de később a rögtönítelő bíróság jogát is ki-terjesztették az elsötétítés ideje alatt elkövetett bűncselekményekre.

A rendelkezések végrehajtásának szervezése Magyarországon is a Honvédelmi Minisztérium alá tartozott – támaszkodva a lakosság önszerveződésére. Ebből a célból osztályokba sorolták a településeket és a védendő épületeket, létesítményeket. A berlini gyakorlatról készült beszámolójában Németh Lajos még óhajként fejezte ki, hogy „ittthon is alkalmunk lesz záros határidőn belül”⁷⁵ ilyet tartani; 1936. július 1–4. között a Belügyminisztérium tanfolyamot tartott a vármegyék alispánjainak és a nagyvárosok polgármestereinek a légvédelmi rendelkezésekről.⁷⁶ Novemberben pedig elsötétítési kísérlet történt Budapesten, amikor 20 másodpercre teljesen kikapcsolták a Belvárosban a világitást.⁷⁷

Az első gyakorlatokat 1937-ben tartották Magyarországon, 1938-tól az Országos Légvédelmi Parancsnokság pedig időnként meglepetésszerű próbariadókat tervezett anélkül, hogy a napját előzetesen közölte volna.⁷⁸ A szervezésben és az ellenőrzésben segédrendőrök is részt vettek (2. táblázat).

2. táblázat: Főbb elsötétítési gyakorlatok 1937 és 1940 között

Időpont	Hely(ek)	Megjegyzés
1937. 06. 12.	Hódmezővásárhely	Az első nagyközségi gyakorlat.
1937. 06. 14.	Szeged	Az első városi gyakorlat.
1937. 10. 10.	Budapest	Előgyakorlat.
1937. 10. 14.	Budapest és Újpest, Rákospalota, Pestújhely, Rákosszentmihály, Sashalom, Kispest, Pestszentlőrinc, Pestszenterzsébet, Csepel, Budatétény, Budafok, Albertfalva, Pesthidegkút és Békásmegyér	Főgyakorlat.
1937. 10. 14.	Dunakeszi, Alag, Budakeszi, Budaörs	Főgyakorlat.
1937. 10. 14.	Nagykovácsi, Solyvár, Üröm, Pilisborosjenő és Budakalász	Főgyakorlat.
1937. 10. 26.	Szekszárd	Budapest után az első város.
1937. 11. 15.	Székesfehérvár	–
1937. 11. 22.	Debrecen	A Tiszántúl minden városának polgármestere részt vett.
1937. 11. 23.	Nyíregyháza	Az első a vidéki városok közül, amelyről a Magyar Rádió közvetítést adott.
1937. 11. 26.	Pécs	23.30-tól kezdődött és a riadó teljesen csődöt mondott. A szirénák hangja elhalt, a harangkongatást pedig csak a templomok közvetlen környékén lehetett hallani.
1937. 11. 25.	Szombathely	22.00-kor kezdődött.
1937. 11. 26.	Szeged	A sikertelen nyári után a második gyakorlat.
1937. 11. 27.	Sopron	–

⁷⁵ NÉMETH 1935: 17.

⁷⁶ Dr. Varga Gyula polgármester nyilatkozata a légvédelmi rendelkezésekről 1936: 2.

⁷⁷ Miért sötétítették el kedden éjszaka a Belvárost? 1936: 4.

⁷⁸ Meglepetésszerű gyakorlatok lesznek! 1938: 6.

Időpont	Hely(ek)	Megjegyzés
1937. 11. 29.	Miskolc (Diósgyőri Vasgyár, Hejőcsaba, Felsőzsolca, Alsózsolca, Görömböly, Szirmabesenyő és Sajókeresztúr	21.00-tól 22.40-ig
1937. 11. 29.	Győr	–
1937. 11. 29.	Békéscsaba	–
1937. 11. 29.	Zalaegerszeg	–
1937. 12. 04.	Kaposvár	Az elektromos harang tesztje, illetve a kékfénnyel történő világítás (tervezett) tesztje.
1937. 12. 09.	Budapest	A második nagyszabású légvédelmi gyakorlat.
1937. 12. 10.	Eger	Pénteken este 7.00-tól 8.00-ig
1937. 12. 17.	Hatvan	–
1937. 12. 17.	Nagykanizsa	–
1937. 12. 21.	Cegléd	
1937. 12. 28.	Kecskemét	–
1938. 01. 19.	Esztergom és a dorogi bányavidék (Dorog, Tokod és Pilismarót)	A határ közelsége miatt csökkentett világítás nem megoldható.
1938. 02. 02.	Veszprém	A nagy gyakorlat előkészítésére tartott előgyakorlat.
1938. 02. 22.	Balatonalmádi, Balatonkenese, Berhida, Gyulafirátót, Hajmáskér, Kádárta, Királyszentistván, Litér, Óskü, Papkeszi, Peremarton, Sóly, Szentkirályszabadja, Várpalota, Veszprém, Vilonya, Vörösberény, Fűzfőfürdő, Fűzfőgyártelep, Pétfürdő, Pét-Gyártelep, Papkeszi-Táborhely	Veszprém város és Veszprém vármegye nagy gyakorlata.
1938. 04. 04.	Cegléd	Részleges gyakorlat Cegléden, az állomás közvetlen környékén este 8–10 óráig.
1938. 06. 11.	Kaposvár	–
1938. 09. 31.	Budapest	Az első előzetes figyelmeztetés nélküli riadó gyakorlat, az új szírnák felszerelése után.
1938. 09. 24–25.	Hódmezővásárhely	Este 9 órától teljes elsötétítési gyakorlat.
1938. 09. 26.	Budapest	Hajnali 2 órától, 2 főgyakorlat, valamint 13 kisebb gyakorlat.
1938. 11. 21–22.	Országos légvédelmi gyakorlat	A német–csehszlovák konfliktus hatására.
1938. 12. 01–10.	Országos légvédelmi gyakorlat	Az egész ország területét felölelő négy hatalmas körzetben napokon át tartó nappali és éjszakai légvédelmi, valamint légtalmi gyakorlat. Pontos időpont előzetes megjelölése nélkül, a Magyar Rádió riasztása útján kezdődött. A befejező gyakorlatnak Szolnok volt a központja.
1939. 09. 30.	Eger	A csökkentett világításra való áttérés 20.00-kor lépett életbe.
1939. 10. 24–25.	Budapest és a keleti országrész	Az első nagyszabású, a fél országra kiterjedő gyakorlat.
1939. 10. 26–27. és 11. 03.	Országos légvédelmi gyakorlat	Egy-egy napos országos légtalmi és légvédelmi gyakorlat.
1940. 06. 12.	Miskolc, Kecskemét	Teljes 24 órás gyakorlat. A tavaszhoz és őszihez képest júniusban tartották meg, és a helységekből meglepetésszerűen rendelték el.

Forrás: a szerző szerkesztése

Az eddig bemutatott részletek is jól körülhatárolják a sötétség intézményesítésének fő jellemzőit. A cél kétségtelenül az volt, hogy fokozza a belső biztonságot, csillapítsa a lakosság aggodalmait, továbbá fenntartsa az egyéni és a közösségi morált, a háborús politika támogatását. Számos kritika érte azonban már a kezdetekben is, például sokan állították, hogy az elsötétítés felesleges, mert olyan nagyvárosban, mint Budapest, az ellenség bárhova dobhat

le bombákat.⁷⁹ Jól látható, hogy a hazai elsötétítéssel kapcsolatos gazdasági, társadalmi problémák a második világháború előtt és a háború alatt hasonló képet mutatnak, mint a német vagy brit tapasztalatok. Álcázás, rejtés, megtévesztés taktikáját is alkalmazták, ha Magyarország egyetlen világvárosa tekintetében ehhez nem is rendelkezett optimális adottságokkal, mint például Berlin. Ahogy Milánót, Budapestet is váratlanul érte a bombatámadás,⁸⁰ ebből messzemenő következtetést nem vonhatunk le, azonban nem lehet jelentéktelennek vagy csak a légoltalmi intézkedések kiegészítőjének tekinteni az elsötétítést. A felkészülés a britekhez vagy a németekhez képest ugyan megkétszerezte, de itthon is megkezdődött 1937-ben. Az intézkedéseket tekintve számos finomhangolás figyelhető meg. Az élénk tároló rendszer elég vegyes képet mutat. Az adminisztratív szerveződés sikeresen zajlott, bár a szabályozás néha eklektikus volt, hiszen a vendéglátóhelyek számára tett enyhítések, illetve fővárosi feloldása a karácsonyi ünnepekre jól mutatja a társadalmi feszültséget, továbbá a gazdasági oldalról érkező nyomást.⁸¹ Az elsötétítést végleg 1945. május 9-én, az európai háború befejezésének napján törölték el.⁸²

Követelmény és megvalósítás

Az éjszakai bombázások elleni légoltalmi követelmények szerepe abban volt, hogy az ember építette környezetet a levegőből bizonyos magasságban már ne lehessen észrevenni. Mindez a rejtve maradási és a célzás pontosságának csökkentését kívánta elérni.

Az elsötétítés megvalósítása több körülménytől is függött, mint például a környező természetes háttérvilágítástól, tükröződő felületektől, fényforrás erősségétől, irányától, felületének nagyságától, a környező felület reflexiójától, a fényforrás színhőmérsékletétől, fényszínétől, de még az évszaktól és az időjárástól is. De a védműveknek is nagy jelentősége volt a bombák eltérítésében az éjszakai bombázások során. Így elsősorban a fényhatás (fényáram) csökkentése vagy a fénykibocsátás területének korlátozása szolgált a háttérvilágítás védelmére a háborúban, de csak az adottságokhoz, lehetőséghez, illetve környezethez való adaptáció vezethetett eredményre.

Az elsötétítés „tudománya” folyamatosan fejlődött. A polgári lakosság bevonása, illetve a helyes elsajátítás képzést, gyakorlást igényelt. Ennek köszönhetően az elsötétítés követelményrendszere folyamatosan alakult, és propagandaszeret, illetve szervezői elvet is betöltött. Ezért egyértelműen kijelenthetjük, hogy csak szigorú, meghatározott módon és a követelmények enyhítése nélkül lehetett bevezetni és alkalmazni az élet összes területére, mint a munkahelyekre is, legyen az gyárban vagy lakóépületben kialakított irodában. Az alkalmazott módszerek igyekeztek figyelembe venni a biztonsági feltételeket és természeti adottságokat. Tehát nem beszélhetünk a szabályozás területén adaptációmentességről.

⁷⁹ NYIRY 1937: 3.

⁸⁰ CSERNUSZ 2014.

⁸¹ *Újabb elsötétítési könnyítések 1941: 5 és Hivatalos tájékoztatás az elsötétítési könnyítésekről 1942: 7.*

⁸² DANISS 2020: 8.

Az adminisztratív előírás, ellenőrzés és a műszaki kivitelezés is igazodtak az elvárásokhoz, ha a kor szükségletei nem is minden szempontból tették ezt lehetővé. Egyszerű megoldásoktól speciális termékekig, illetve szerkezetekig készültek az elsötétítés szabályait elősegítő eszközök. A több száz négyzetméternyi felületek takarása nagy kihívást jelentett, csak optimális körülmények esetén volt megfelelő.

A termelést, gyártást érintően külföldön és idehaza is történtek ajánlások munkabiztonság tekintetében. Németországban rendelettel szabályozták, hogy a munkavédelmi szempontokat figyelembe vegyék az elsötétítés ideje alatt is. Azonban általánosságban elmondható, az elsötétítés jelentette korlátozott körülmények közötti munkavégzés hatékonyságára sajnos nem történt felmérés a háború alatt, ilyen vizsgálat nem ismert. A munkahelyek általános bemutatása, illetve a világítástechnika vonatkozásainak leírása a cikksorozat következő részének tárgya.

Összegzés

A fény hiánya sokkal nehezebbé teszi az ellenséges repülőgépek számára a célpont megtalálását, de nem lehetetlenné. A kezdeti bizakodásra rácaffolt a gyakorlat. A német repülőgépek képesek voltak tartós pusztítást okozni brit városokban, gyárakban, kikötőkben és repülőtereken, mint ahogyan később az angolszászok is a németek, valamint csatlósaik által megszállt területeken. Már a totális háború előtt felismerték az erkölcs és a lelki jelenségek szerepét. Az elsötétítés az egész társadalom minden szegmensére, így a munkahelyekre is kiterjedt, az élet részévé vált, jól érezhetően nyomást gyakorolt a munkaszervezésre, és jelentős hatása volt a mindennapi életre, ahogy a társadalmi érintkezésekre is.

Az eljárásokat tervszerűen kellett a sorolt iparágakon, üzemekben, illetve vendéglátó- és kereskedelmi helyeken megvalósítani. Tervet készítettek és rendhagyó megoldások is születtek. Az elsötétítés követelményeinek megvalósításához új technikai kialakításokra, a világítástechnika speciális alkalmazására volt szükség. A civil társadalom átalakult.

A szabályok kikényszerítése érdekében szankciók léptek életbe, illetve bekerült az elsötétítés ideje alatt történt cselekmények „tényállása” a magyar jogrendbe és az ítélkezési gyakorlatba.

A szemre hagyatkozó rejtés, mint az elsötétítés, napjainkban is követelmény, azonban bevezetése alapvetően nem tudja megváltoztatni a földrajzot, amire a napjaink háborús bombázásai, drón- és rakétatámadásai is rámutatnak mint a robusztus rendszerek, szervezetek és infrastruktúrájuk sérülékenységére. A technológia fejlődésével a vizuális helymeghatározás szerepe jelentéktelenné zsugorodott. A korszakokat vizsgálva az elsötétítésemélet a légi bombázások és a légvédelem fejlődésével közösen változott, amit érdemes részletesen vizsgálni, valamint az életvédelem, azaz a lakosság védelmi képességének megőrzése szempontjából áttekinteni és megítélni annak szerepét – a gazdasági, köz- és munkabiztonsági, a szociológiai és az egyén pszichológiai oldalával együtt.

A cikkben körülhatároltam a témát érintő fő neuralgikus pontokat. Összefoglaltam az elsötétítés második világháborút és az azt megelőző éveket érintő magyar vonatkozásait, különös tekintettel a teóriákra, az alkalmazott szabályrendszerre, valamint annak gyakorlatára.

Felhasznált irodalom

- AUJESZKY László (1935): Budapest helyzete a légi és meteorológiai háború szempontjából. *Városi Szemle*, 21(XXL).
- CZIEGLER István (1929): Passzív légvédelem. *Magyar Katonai Közlöny*, 17(5), 526–532.
- CSERNUSZ Szilveszter (2014): Bombázók célkeresztjében a magyar főváros. *Múlt-kor*, 2014. július 8. Online: https://mult-kor.hu/20140708_bombazok_celkeresztjeben_a_magyar_fovaros
- CSONKARÉTI Károly – SÁRHIDAI Gyula (2010): *Az Osztrák–Magyar Monarchia tengerészeti repülői 1911–1918*. Budapest: Zrínyi.
- DANISS Győző (2020): Egy óra 7 pengő 10 fillér, 1945. május–június: Bánk Bán is, „étkezési nyulak” is. *Budapest*, 43(5). Online: www.budapestfolyoirat.hu/2020/05/egy-orara-7-pengo-10-filler
- DÁNFY Mihály (1931): Gondolatok az ellenséges földi és légi tűzhatás szétforgácsolására vagy csökkentésére. *Magyar Katonai Szemle*, 1(4), 24–30.
- DOMBRÁDY Lóránd (1977): Adalékok a magyar uralkodó osztályok katonapolitikájához (1927–1936). *Hadtörténelmi Közlemények*, 24(1), 3–30. Online: https://epa.oszk.hu/00000/00018/00271/pdf/EPA00018_hadtortenelmi_1977_01_003-030.pdf
- FABINI Tivadar (1937): Elsötétítés repülőátadásoknál. *Magyar Katonai Szemle, Légügyi Közlemények*, 7(1), 97–100. Online: https://adt.arcanum.com/hu/view/MagyarKatonaiSzemle_1937_1/?p-g=660&layout=s
- GABOSSY László (1939): Közhasznú tanácsadó légítámadások esetére. *Magyar Katonai Szemle, Hadi-technika*, 9(3).
- GÁLÓCSY Árpád (1930): Légvédelem, gázvédelem. *Magyar Jövő*, 12(76), 1930. április 3. Online: https://adt.arcanum.com/hu/view/MiskolciMagyarJovo_1930_05-06/?pg=17&layout=s
- GAZSÓ L. Ferenc (2023): Erős várunk, a légoltalom. *Magyar Nemzet*, 2023. március 19. Online: <https://magyarnemzet.hu/lugas-rovat/2023/03/eros-varunk-a-legoltalom>
- GEREY László (1938): Légoltalmi elsötétítés és riasztás Békéscsabán. *Légoltalmi Közlemények*, (különkinyomat). Budapest: Pallas irodalmi és nyomdai r.t.
- HORVÁTH József (1989): *Budapest díszvilágítása*. Budapest: Hungexpo – Vízio Művészeti Alkotóközösség – World Media Service.
- JASZTRAB Péter János – ISTÓK Robert (2021): A világítás katonai vonatkozásai II/3. rész: A harcéri világítás és az elsötétítés szabályai. *Hadmérnök*, 16(2), 15–32. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2021.2.2>
- JASZTRAB Péter János – ISTÓK Robert (2023): A világítás katonai vonatkozásai: 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>
- KARTAL Imre (1940): A közösség kérdez, a szakértő felel. *Riadó!* 4(20).
- KARTAL Imre (1942): Sorolt vagyontárgyak légoltalma. *Riadó!* 6(6).
- KÓKAY György (1996): *A II. világháború magyar légoltalmának iratanyaga a Polgári Védelmi Archivumban*. Budapest: BM PVOP.
- KUNZ, Rudibert – MÜLLER, Rolf-Dieter (1990): *Giftgas gegen Abd el Krim: Deutschland, Spanien und der Gaskrieg in Spanisch-Marokko 1922–1927*. Freiburg: Rombach.
- LÁZÁR Gábor (2003): A magyar légoltalom szervezete, feladata a II. világháború időszakában. *Rendvédelmi Füzetek*, (2). Budapest: Rendőrtiszti Főiskola.
- L. V. (1935): Próbaháborúkon, milliós költséggel, hadi csodagépekkel készül a világ a légiszörnyetek csatáira. Meg kell szervezni a magyar polgári légvédelmet! *Miskolczi Estilap*, 44(246), 1935. október 27.
- MACKAY, Robert (2002): *Half the Battle, Civilian Morale in Britain During the Second World War*. Manchester – New York: Manchester University Press. Online: <https://doi.org/10.7228/manchester/9780719058936.001.0001>

- MAKAY HOLLÓSY Béla (1938): Irányelvek az ipartelepek légtalmának kiépítéséhez. I. rész: Gyártelepek, bánya- és kohóüzemek. *Légtalmi Közlemények, A Légtalmi Liga műszaki és tudományos szemléje*, (április), 97–107.
- NÉMETH Lajos (1935): Elsötétítés, légvédelmi gyakorlat Berlinben. *Budapesti Hírlap*, 55(63), 17.
- N. K. (1936): Az őrszem, a polgári légvédelem (felt. szerző: Németh Kálmán). *Magyar Rendőr*, 3(9), 1936. május 1.
- NYE, Logan (2021): The 7 Most Intense Air Battles in Aviation History. *We Are The Mighty*, 2021. február 12. Online: www.wearethemighty.com/mighty-history/the-7-most-intense-air-battles-in-aviation-history/
- NYIRY László (1937): A légtalmi riadó katonai tanulságai: egyszerűsítsük és gyorsítsuk az elsötétítést, sürgősen építsük meg az óvóhelyeket, több és erősebb hangú szirénát! *Nemzeti Ujság*, 19(234), 1937. október 15.
- OLASZ Lajos (2004): Jugoszláv légitámadások Magyarország ellen 1941 áprilisában. *Hadtörténelmi Közlemények*, 117(1), 167–204. Online: https://epa.oszk.hu/00000/00018/00076/pdf/EPA00018_hadtortnelmi_2004_01_167-204.pdf
- OLASZ Lajos (2014): A magyar légtalom megszervezése az 1930-as években. *Rendvédelem-történeti füzetek*, 24(38), 75–84. Online: <https://doi.org/10.31627/RTF.XXIV.2014.35-36-37-38N.75-84P>
- PETRÓCZY István (1930): Veszélyben minden magyar város! *Somogyi Ujság*, 12(257).
- PETRÓCZY István (1932): Üzemek és gyárak légvédelmi parancsolatai. *Bányászati és Kohászati Lapok*, 65(6), 137–139. Online: <http://bkl.uni-miskolc.hu/1932/index.php>
- PILCH Jenő et al. (1916): *Harc a levegőben. A nagy háború írásban és képből. A nyugati harctér II.* Budapest: Athenaeum Irodalmi és Nyomdai Részv.társ.
- ROXER Pál (1936): Idegen államok polgári légtalma. *Magyar Katonai Szemle, Műszaki Közlemények*, 6(4), 148–149.
- SIPOS Béla (1936): *Honi Légtalom.* Békéscsaba: szerzői kiadás.
- SZABÓ László (1931): Az ipartelepek légi támadások ellen való megvédése. *Technikai Kurír*, 2(7), 1931. július 1.
- SZABÓ József et al. (1995): *Hadtudományi Lexikon* I. Budapest: Magyar Hadtudományi Társaság.
- SZABÓ Miklós (1981): A Magyar Királyi Honvéd Légierő létrehozásával és továbbfejlesztésével kapcsolatos elméleti tevékenység (1930–1944). *Hadtörténelmi Közlemények*, 28(3), 450–480. Online: https://epa.oszk.hu/00000/00018/00168/pdf/EPA00018_hadtortnelmi_1981_03_450-480.pdf
- SZENTNÉMEDY Ferenc (1937): Bombavetések gyakorlati eredményei. *Magyar Katonai Szemle, Légügyi Közlemények*, 7(3), 108–121.
- [Sz. n.] Légitámadások Magyarország ellen (1944–1945). *Arcanum adatbázis*, Online: www.arcanum.com/hu/online-kiadvanyok/2vhSzakkonyv-magyarok-a-ii-vilaghaboruban-2/a-keleti-hadszinter-es-magyarorszag-1943-1945-13DD/7-az-arcvonalak-mogott-1943-1945-1B8B/legitamadasok-magyarorszag-ellen-1944-1945-1BB5/
- [Sz. n.] A jugoszláv légierő helyzete. *Arcanum adatbázis*, Online: www.arcanum.com/hu/online-kiadvanyok/2vhSzakkonyv-magyarok-a-ii-vilaghaboruban-2/legi-haboru-magyarorszag-felett-6E95/elso-kotet-6E96/a-gyori-programtol-a-haboru-kezdetei-19381941-6F16/a-jugoszlav-legiero-helyzete-6FDE/
- [Sz. n.] (1915): Párisban félnek a Zeppelinektől. *Egri Ujság*, 22(14), 1.
- [Sz. n.] (1936): Miért sötétítették el kedden éjszaka a Belvárost? *Pesti Hírlap*, 58(265), 1936. 11. 19.
- [Sz. n.] (1936): Dr. Varga Gyula polgármester nyilatkozata a légvédelmi rendelkezésekről. *Magyar Alföld*, 5(56), 1936. 07. 12.
- [Sz. n.] (1937): Ne legyen több katonai repülőgép. *Friss Újság*, 42(149), 4.
- [Sz. n.] (1938): Meglepetésszerű gyakorlatok lesznek! *Nemzeti Ujság*, 20(219), 1938. szeptember 29.
- [Sz. n.] (1939): Megjelent a légvédelmi riasztó rendelet. *Pesti Hírlap*, 31(163), 7.
- [Sz. n.] (1940): Ismét alkalmazni kell a légvédelmi elsötétítést. *Ellenzék*, 61(150), 1940. július 6.
- [Sz. n.] (1941): Újabb elsötétítési könnyítések. *Pesti Hírlap*, 63(173), 1941. július 31.

- [Sz. n.] (1942): Kilenc halálos áldozata van a szovjet légi orv támadásának. *Felvidéki Ujság*, 5(202) 1942. szeptember 7.
- [Sz. n.] (1942): Hivatalos tájékoztatás az elsötétítés könnyítésekről. *Népújság*, 15(253), 1942. november 7.
- [Sz. n.] (1943): A Légoltalmi Liga országos közgyűlése. *Riadó!* 7(11), 169–171.
- URBAN Franciska – VISZKET Zoltán – BAZSALYA Kornél (2012): *Óbudára nézve nagy változás állt be.* Harrer Pál és a várossegysítés 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 II. világháború során. *A Veszprém Megyei Múzeumok Közleményei*, 15. 167–202. Online: https://epa.oszk.hu/01600/01610/00015/pdf/vmm_15_1980_12_veress.pdf
- WIGGAM, Mark Patrick (2011): *The Blackout in Britain and Germany during the Second World War.* Online: <https://ore.exeter.ac.uk/repository/bitstream/handle/10036/3246/WiggamM.pdf?sequence=2>

Jogi források

- 62.300/eln. lgv.-1938. számú körrendelet. Az első légtalmi csoportba sorolt ipartelepek légtalmának megszervezése tárgyában. *Honvédségi Közlöny*, 1938/25. 285–292. Online: https://adt.arcanum.com/hu/view/HonvedsegiKozlony_1938/?pg=459&layout=s
- 88.002/eln. lgv.-1939 HM rendelet A légtalmi elsötétítő szolgálatról
- 126.773/eln. 38-1944 HM rendelet A légtalmi elsötétítésnek 1944. évi december hó 4-étől 1944. évi december hó 31-éig történő szabályozásáról
1939. évi II. törvénycikk a honvédelemről
- 1939 (RGL. I S. 965) Vom 23. Mai Achte Durchführungsverordnung zum Luftschutzgesetz (Verdunklungsverordnung)
- LÉGO. UT. III.-1. 88.082./eln. 35.-1939 HM rendelet alapján kiadott Utasítás a légtalmi szolgálat ellátására, (Elsöt. 1.) Közvilágítás, m.kir HM kiadványa, Athenaeum Rt, Budapest, 1939
- LÉGO. UT. III.-2. 81.900/eln. lgv.- 1940 HM rendelet alapján kiadott Utasítás a légtalmi szolgálat ellátására, (Elsöt. 2.), Épületek elsötétítése, m.kir HM kiadványa, Athenaeum Rt., Budapest, 1940
- LÉGO. UT. III.-3. 83.000/eln. lgv.- 1940 HM rendelet alapján kiadott Utasítás a légtalmi szolgálat ellátására, (Elsöt. 3.), Közúti járóművek és forgalombiztonsági fényforrások elsötétítése, m.kir HM kiadványa, Athenaeum Rt, Budapest, 1940

Ember István,¹ Dénes Kálmán,² Daruka Norbert,³ Vég Róbert,⁴ Kovács Zoltán⁵

Az additív gyártástechnológia alkalmazásának lehetőségei és korlátai szikramentes kéziszerszámok készítése során⁶

The Possibilities and Limitations of Additive Manufacturing Technology in the Production of Non-Sparking Hand Tools

A cikkben ismertetett kutatás célja az additív gyártástechnológia alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata szikramentes biztonsági kéziszerszámok tervezése, gyártása és fejlesztése során. Vizsgáljuk a 3D-nyomtatott kéziszerszámok használhatóságát, alkalmazási és biztonsági megfelelőségét, valamint a használatuk során felmerülő különböző problémák okait és azok megoldásait. Ebben az írásban a 3D-nyomtatási technológiákat, valamint a nyomtató alapanyagokat mutatjuk be, elemezzük és értékeljük. Arra keressük a választ, hogy melyik nyomtatási technológia és anyag felel meg legjobban az ilyen szerszámokkal szemben támasztott követelményeknek.

Kulcsszavak: additív gyártástechnológia, 3D-nyomtatás, szikramentes biztonsági szerszámok

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

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

³ Robbanóanyag-ipari szakmérnök, e-mail: daruka.norbi@gmail.com

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

⁵ Egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Műveleti Támogató Tanszék, e-mail: kovacs.zoltan@uni-nke.hu

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

The aim of the research presented in the article is to explore the application possibilities of additive manufacturing technology in the design, production, and development of non-sparking safety hand tools. We examine the usability, application suitability, and safety compliance of 3D-printed hand tools, as well as the causes of various problems that arise during their use and their solutions. In this paper, we introduce, analyse, and evaluate 3D printing technologies and printing materials. We seek to answer, which printing technology and material best meet the requirements set for these tools.

Keywords: additive manufacturing, 3D printing, non-sparking safety tools

Bevezetés

A különböző kéziszerszámok évezredek óta fontos részei a mindennapoknak, a háztartásoktól kezdve a különböző ipari tevékenységekig mindenhol megtalálhatók, mivel megkönnyítik és hatékonyabbá teszik a munkavégzést. A végrehajtandó feladatok változásával együtt változtak és fejlődtek ezek az eszközök éppen úgy, mint ahogyan a velük szemben megfogalmazott elvárások és követelmények is.

A felhasználói igények változásának megfelelően kialakultak a különleges feladatok elvégzésére alkalmas célszerszámok, majd az azok készítésére és fejlesztésére szakosodott gyártók, valamint megjelentek a munkavégzés biztonságának növelésére irányuló igények és törekvések is. Jogszabályokban rögzítették az egészséget nem veszélyeztető és biztonságos munkavégzés személyi, tárgyi és szervezeti feltételeit csakúgy, mint a munkáltatók és a munkavállalók feladatait, jogait és kötelességeit.

Szikramentes biztonsági szerszámok

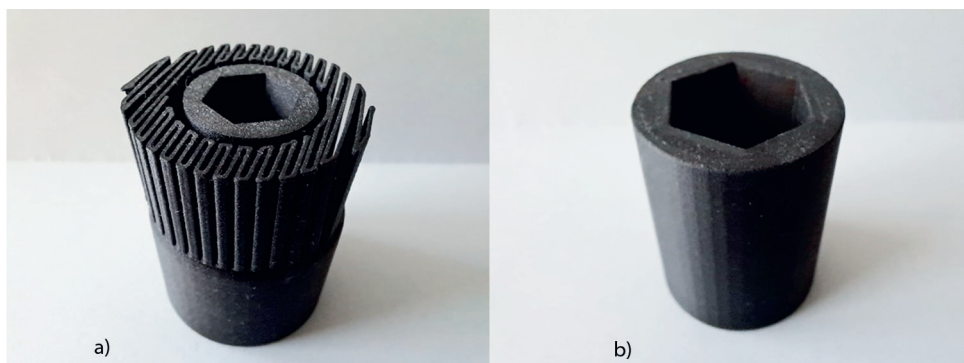
A műszaki munkák végrehajtása során használt kéziszerszámok és az azokkal szemben meghatározott követelmények egyik jelentős változását minden bizonnyal a nyersanyagok és az energiahordozók bányászata során sújtólégrobbanás⁷ miatt bekövetkezett bányaszerencsétlenségek okozták. Ekkor kezdtek el széles körben elterjedni azok a robbanásbiztos berendezések és szerszámok, amelyek használatát robbanásveszélyes környezetben napjainkban már jogszabályok szabályozzák, mint a meghatározó jelentőségű 35/2016. (IX. 27.) NGM rendelet.⁸ A rendelet értelmezésében robbanásveszélyes környezetnek minősül minden olyan gáz, gőz, permet vagy por formájú gyúlékony anyag és levegő keveréke normál légköri feltételek mellett, amelyben a gyújtást követően az égés a keverék még meg nem gyújtott részére is teljes mértékben áttérjed. A robbanás elkerülésének érdekében ezért elengedhetetlen annak

⁷ Sújtólégrobbanás abban az esetben következhet be, ha a levegőben a metán 4–15 (V/V)%-ban van jelen. Alacsonyabb koncentráció esetén nem következik be detonáció, magasabb esetén égés alakul ki.

⁸ 35/2016. (IX. 27.) NGM rendelet.

biztosítása, hogy a munkavégzés során használt szerszámok által esetlegesen generált szikra energiája alacsonyabb legyen, mint a munkavégzés helyén, a robbanásveszélyes környezetben a léghőben lévő gáz gyulladáspontja. Ez a gyakorlatban az úgynevezett szikramentes szerszámok használatával valósítható meg.

A szikramentes biztonsági szerszámok elsősorban vasat nem tartalmazó ötvözetből (általában réz-ötvözetekből, alumínium-bronzból, ón-bronzból vagy berillium-rézből), bőrből, fából vagy műanyagból készülnek annak érdekében, hogy minimálisra csökkentsék a szikraképződés, ezáltal a robbanás bekövetkezésének kockázatát az ATEX 1999/92/EC⁹ szerint gyúlékony vagy könnyen gyúlékony gőzökkel, folyadékokkal vagy porokkal rendelkező zónákban, a szerszámok használata közben. További fontos tulajdonságuk a kialakításuk, amelynek során kerülni kell a szikrát okozható éles széleket vagy sarkokat is (1. ábra).



1. ábra: 3D-nyomatással készült szikramentes dugókulcs
a) utómunkálatok előtt, b) késztermék az utómunkálatokat követően
Forrás: a szerzők felvétele

Figyelembe kell venni továbbá, hogy ezeknek a szerszámoknak a mechanikai tulajdonságai, anyagjellemzői nem érik el az általános acélszerszámok tulajdonságait, ezért a szikramentes szerszámok túlterhelését el kell kerülni, fokozott óvatossággal kell azokkal dolgozni.

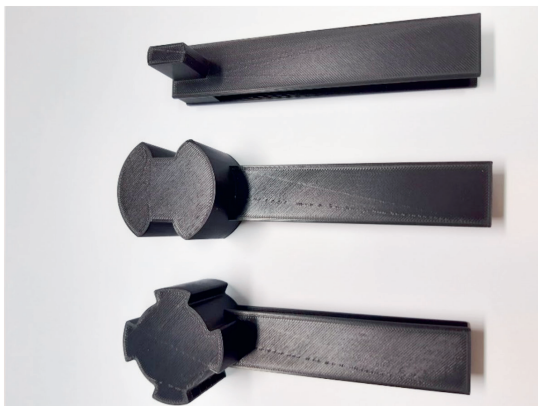
A szikramentes biztonsági szerszámokat napjainkban számos területen alkalmazzák, ahol a szikraképződés vagy a keletkező hő biztonsági kockázatot, robbanásveszélyt jelent. Az alábbi felsorolás néhány jellemző példát mutat be a szikramentes biztonsági szerszámokra és azok felhasználási területeire:

- Kéziszerszámok: villáskulcsok, csillagkulcsok, dugókulcsok, kalapácsok, csavarhúzó, fogók stb. Ezek például az olaj- és gáziparban (2. ábra) vagy tűzserézs mentesítési feladatok végrehajtása során használhatók.
- Vágóeszközök: hidegvágók, kések, balták, fűrészek stb. Többek között tűzserézs mentesítési feladatok, vegyipari vagy bányászati feladatok végrehajtása során használhatók.

⁹ Directive 1999/92/EC.

- Kézifűrók és marógépek: a teljesség igénye nélkül az építőiparban például gázvezetékek karbantartásánál, a szénbányászatban, továbbá a vegyiparban használhatják ezeket.

A szikramentes biztonsági szerszámokat különös gondossággal, körültekintően kell nemcsak használni, hanem karbantartani is annak érdekében, hogy azok hosszú időn keresztül használhatók legyenek, és megőrizzék a biztonságos használatot biztosító tulajdonságaikat.



2. ábra: 3D-nyomatással készült speciális hordókulcsok

Forrás: a szerzők felvétele

A jogszabályi előírásoknak eleget téve egyre több helyen van alkalmazási kötelezettség szikramentes szerszámokra annak érdekében, hogy a munkakörnyezet biztonságosabb legyen. Ezek között található meg azok az ágazatok, ahol tűz- vagy robbanásveszélyes anyagok előfordulnak, mint például (a teljesség igénye nélkül):

- a bányászat;
- a vegyipari üzemek;
- a veszélyesáru-szállítás;
- az üzemanyagtöltő állomások;
- a gázcserelepek;
- a robbantástechnika;
- az űrtechnika
- és a környezetvédelem.

A fent említett rendelet előírásai jelennek meg a hatályos 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet,¹⁰ az Országos Tűzvédelmi Szabályzat PB-gázcserelepekre vonatkozó üzemeltetési követelményei között,¹¹ amelyek értelmében:

¹⁰ 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet.

¹¹ A rendelet 175. §-a határozza meg a PB-gázcserelepek tűzvédelmi követelményeit és kategóriáit.

- Az „1”–„2” kategóriájú cseretelepek kivételével a palackok kiadása és bevételezése csak testhezálló, az üzemeltető által beszerzett védőruhában, fedett fővel és szikrát nem okozó, antisztatikus lábbeliben végezhető. Műszálból készült alsó- és felsőruházat nem viselhető.
- A „2”–„4” kategóriájú cseretelepeket szükségvilágítás céljára el kell látni legalább 1 darab, a „kategórián felülit” legalább 2 darab robbanásbiztos védettségű hordozható kézilámpával.
- Azokon a cseretelepeken, ahol acélpalackok tárolása és forgalmazása is történik, a robbanásveszélyes övezetekben csak szikrát nem okozó szerszámokkal lehet dolgozni, acél szerszámok használata tilos.

Az ipar mellett a védelmi szférában is megjelenik a speciális kéziszerszámok használatára vonatkozó felhasználói igény, aminek teljesítése sok esetben jogszabályi elvárás is. A Magyar Honvédség műszaki alakulatainak katonái a szervezetük alaprendeltetéséből származó szakfeladataikat a rendszeresített technikai eszközökkel és kéziszerszámokkal hajtják végre. Ezek között ki kell emelni a Magyar Honvédség 1. Tűzszerész és Folyamőr Ezredet, amelynek katonái a 142/1999. (IX. 8.) Kormányrendelet¹² előírásainak megfelelően napi rendszerességgel tűzszerészeti mentesítési feladatokat látnak el robbanásveszélyes környezetben. A közszolgálati feladat végrehajtása során indokolt esetben szikramentes szerszámokat használnak, amelyekkel az alakulat rendelkezik.

A kereskedelmi forgalomban megvásárolható szikramentes szerszámokat néhány nagy nemzetközi gyártó készíti, hazánkban pedig számos forgalmazótól lehet beszerezni. Ezek a minősített szerszámok megfelelnek a vonatkozó előírásoknak, így például a „Beta” szikramentes szerszámokat a BAM (Szövetségi Anyagkutató és Vizsgáló Intézet) a 99/92/EC Európai Irányelvnek megfelelően tanúsítja.¹³

Hipotézisünk szerint az additív gyártástechnológiát használó 3D-nyomatás megteremti annak a lehetőségét, hogy a felhasználói és a jogszabályi elvárásoknak egyaránt megfelelően jelentősen olcsóbban tudjunk különböző szikramentes biztonsági kéziszerszámokat készíteni, mint amennyiért jelenleg a kereskedelemben megvásárolhatók ezek a termékek. Feltevésünk szerint további előnyt jelent a szerszámok helytől, típustól és darabszámtól független gyártathatósága, mivel az ellátási lánc kizárásával biztosítható a gyártás. Feltételezésünk igazolására az alábbiakban kutatásunk eredményeként bemutatjuk azokat az additív gyártástechnológiai lehetőségeket – tervezésre, gyártásra, valamint fejlesztésre vonatkozóan –, nyomtatókat és nyomtató alapanyagokat, amelyeket a 3D-nyomatás az ipar és a honvédelem számára kínál a szikramentes biztonsági kéziszerszámok készítésére.

¹² 142/1999. (IX. 8.) Korm. rendelet.

¹³ Lásd: www.szerszamallomas.hu/Beta-000550847-Beta-55Ba-17X19-Szikramentes-Villaskulcs

A szikramentes biztonsági kéziszerszámokkal szemben megfogalmazott követelmények

A szikramentes használatot biztosító kéziszerszámoknak különböző elvárásoknak, jogszabályi, gyártási és szabványkövetelményeknek kell megfelelniük annak érdekében, hogy azokat hatékonyan és biztonságosan lehessen használni. Ezek a fontosabb követelmények és előírások, valamint a használathoz szükséges lényegesebb dokumentációk a következők lehetnek:

- **Teljesítményhatékonyság:** a kéziszerszámoknak az elvárt teljesítményt (azaz egységnyi idő alatt elvárt munkavégzést) kell biztosítaniuk az adott feladat elvégzéséhez. Ez magában foglalja a munkavégzés hatékonyságát növelő, egyedi célszerszámok kialakítását-biztosítását is.
- **Minőség:** a kéziszerszámoknak jó minőségű, tartósságot biztosító anyagokból kell készülniük. A minőségi nyomtató alapanyagok és a jól kiválasztott gyártási folyamatok garantálják a hosszú élettartamot, amivel hozzájárulnak a munkavégzés jó minőségéhez.
- **Műszaki specifikációk:** a kéziszerszámoknak meg kell felelniük a meghatározott műszaki specifikációknak, ami a teljesítmény, a méretek és az egyéb műszaki paraméterek szabványosítását jelenti.
- **Minőség-ellenőrzés:** a gyártás során rendszeresen ellenőrizni kell a gyártási folyamatot és a késztermékeket annak érdekében, hogy folyamatosan biztosítani tudjuk az elvárt minőséget. Ehhez ki kell alakítani a szükséges minőség-ellenőrzési eljárásokat és be rendezéseket.
- **Szikramentes használat tanúsítása:** a kéziszerszámok vizsgálata és tanúsítása annak igazolására, hogy azzal robbanásveszélyes környezetben is lehet biztonságosan munkát végezni.
- **Pontosság:** bizonyos feladatok végrehajtása (például információs technológia, űrtechnika) nagyfokú precizitást, pontos végrehajtást igényel, amihez nélkülözhetetlenek a megfelelő méretpontossággal legyártott kéziszerszámok.
- **Biztonság:** a használat során minden kéziszerszámnak a legkisebb kockázatot kell jelentenie a használójára nézve. A biztonságos működéshez hozzájárul például az ergonómiai tervezés, a szükséges védőburkolatok és a különböző biztonsági megoldások.
- **Kényelem, ergonómia:** a kéziszerszámoknak kényelmesen használhatónak kell lenniük, amit már a tervezés során biztosítani kell annak érdekében, hogy a legkisebb erőfeszítést igénylő szerszámokat tudjuk megalkotni. Ez magában foglalja az emberi adottságoknak legjobban megfelelő kialakítást, ami például az ergonómikus fogantyúban, a súlyelosztásban és a rezgéscsillapításban jelenik meg.
- **Védőfelszerelések:** számos kéziszerszám használatakor kiegészítő, de a szerszám szerves részét jelentő védőfelszerelésre is szükség lehet, ami biztosítja például a kéz védelmét véső használatokor. Ezek a felszerelések tovább növelik a felhasználók biztonságát, amire éppen ezért a szerszámtervezésnél különösen nagy figyelmet kell fordítani.
- **Megfelelőség, biztonság:** a tervezett kéziszerszámoknak egyaránt meg kell felelniük a munkahelyi, a nemzeti és a nemzetközi szabványoknak, valamint biztonsági előírásoknak, továbbá rendelkezniük kell a szikramentesességet igazoló szervezet tanúsítványával.

- **Karbantarthatóság:** a tervezett kéziszerszámoknak könnyen karbantarthatónak kell lenniük, ami az elhasználódott, sérült alkatrészek könnyű cseréjét, a szükséges olajozást, valamint az általános tisztítást jelenti.
- **Környezetvédelem:** napjainkban szerencsére egyre nagyobb hangsúlyt kap környezetünk védelme, aminek biztosítása érdekében fontos az olyan környezetbarát gyártási folyamatok és anyagok alkalmazása, amelyek minimalizálják a környezeti hatásokat.
- **Címkézés:** a legyártott kéziszerszámokon fel kell tüntetni számos fontos információt (például a gyártó nevét, a termék megnevezését, azonosítóját, a biztonsági utasításokat), amelyek a kereskedőt és a felhasználót egyaránt segítik.
- **Használati utasítás:** a legyártott kéziszerszámok mellé el kell készíteni a használati utasításokat, amelyek segítik a felhasználókat a helyes használatban és karbantartásban, ezzel biztosítható a szerszámok hosszú élettartama és használhatóságuknak megőrzése.

Fontos hangsúlyozni, hogy a különféle kéziszerszámoknak számos esetben sajátos követelményeknek kell megfelelniük attól függően, hogy azokat milyen feladatra és milyen munkakörülmények között használják.

Mindezekre tekintettel van szükség a lista utolsó elemeként feltüntetett használati utasításra, aminek előírásait és ajánlásait a használónak be kell tartania a hatékony és biztonságos munkavégzés, valamint a szerszám hosszú élettartamának biztosítása érdekében. Ezek azok a fontosabb követelmények és elvárások, amiket elsősorban figyelembe kell vennünk a szikramentes kéziszerszámok gyártási folyamatának kialakítása során.

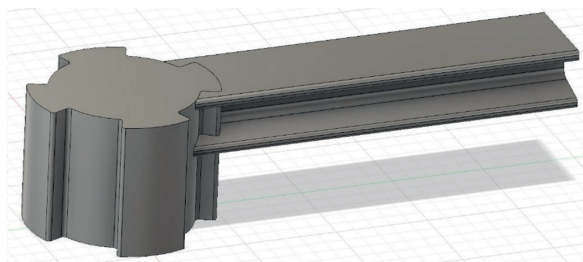
A szikramentes biztonsági kéziszerszámok additív gyártásának folyamata

Az additív gyártástechnológiában végzett kutatásunk során jutottunk arra a feltételezésre, hogy a 3D-nyomatási technológia alkalmazásával jelentősen olcsóbban tudunk többfajta, akár egyedi és testreszabott szikramentes biztonsági kéziszerszámot előállítani anélkül, hogy az az elvárt biztonság rovására menne. A kéziszerszámokkal szemben támasztott követelményeknek megfelelő, egyúttal használhatónak bizonyuló ötletek megvalósításához, azaz a felhasználói és a jogszabályi követelményeknek egyaránt megfelelő szikramentes biztonsági kéziszerszámok előállításához a következő feladatok végrehajtása szükséges:

- az alapadatok gyűjtése és elemzése;
 - felhasználói elvárások;
 - jogszabályi követelmények;
 - a jelenleg megvásárolható termékek vizsgálata;
 - költség-haszon elemzés.
- A 3D-nyomatató alapanyagok vizsgálata, elemzése majd a követelményeknek megfelelő alapanyag kiválasztása. A különböző igényeknek megfelelő, optimális alapanyag kiválasztása egyaránt fontos a biztonsági előírások betartása, a szerszám tartóssága és hatékonysága szempontjából. A vizsgálatok egyik fontos eleme, hogy az alapanyag

önmagában biztosít-e szikramentességet. Ennek igazolására saját laborvizsgálatokat, például szikrapróbát végezhetünk.

- A 3D-nyomatatok vizsgálata, elemzése, majd a követelményeknek megfelelő nyomtató kiválasztása.
- A prototípus tervezése, legyártása és ellenőrzése, szükség esetén módosítása. Tervek készítése CAD-szoftverrel a szerszámokról, figyelembe véve a biztonsági követelményeket, a várható használatot, a funkcionalitást és az alapanyagokat (3. ábra).



3. ábra: Szerszámkulcs CAD-szoftveres tervrajza

Forrás: a szerzők felvétele

- a minőségellenőrzés;
 - méretpontosság vizsgálata;
 - anyagvizsgálatok;
 - gyártási hibák vizsgálata;¹⁴
 - várható élettartam vizsgálata;
 - megfelelő működés és biztonságos használat vizsgálata;
 - a szikramentes használat igazolása, a szerszámok tanúsítása;
- a költségek felülvizsgálata;
- dokumentáció és nyomon követés; a szerszámokhoz tartozó dokumentáció, például használati utasítás, karbantartási utasítás elkészítése, a szerszámok használatának és beválásának nyomon követése;
- végleges gyártmánytervek elkészítése.

A szerszámkészítés iparága folyamatosan fejlődik, hiszen az új technológiák alkalmazásával lehetőség van nemcsak jobb minőségű, hanem egyre hatékonyabb és pontosabb szerszámok gyártására is. Várakozásunk szerint ennek a fejlődésnek lesz fontos állomása a 3D-nyomatás is abban az esetben, amennyiben a szerszámok mechanikai tulajdonságainak biztosítása mellett sikerül igazolni a nyomtatáshoz használt anyagok, ezáltal a késztermék szikramentességét. Erre előzetesen, az akkreditált minősítő vizsgálatokat megelőzően alkalmasak lehetnek az alábbi vizsgálatok:

- szikra- és tűzpróba;
- ütőpróba;

¹⁴ ZENTAY-HEGEDŰS-VÉGVÁRI 2023b.

- elektronmikroszkópos anyagvizsgálat;
- kémiai összetétel vizsgálata;
- laboratóriumi vizsgálatok.

A felsorolt vizsgálatok segíthetnek az anyagok szikramentes használatának igazolásában, de fontos megjegyezni, hogy a szikramentesség nem kizárólag az anyag tulajdonságaitól, hanem a munkafolyamatoktól és egyéb külső körülményektől is függhet.

A 3D-nyomatási technológiák bemutatása

A 3D-nyomatás olyan additív gyártási technológia, amelynek során valamilyen anyag rétegről rétegre történő hozzáadásával készítünk háromdimenziós tárgyakat. Ez az eljárás az ipari felhasználás mellett a védelmi szférában, azon belül a honvédelemben¹⁵ is bizonyította létjogosultságát. A 3D-nyomatási módszereket és nyomtatókat többféleképpen is osztályozhatjuk, ezért cikkünkben mi a kutatásunk szempontjából releváns szempontok alapján csoportosítjuk azokat az alábbiak szerint:

1. A felhasználási terület alapján:
 - kutatás, fejlesztés;
 - prototípusgyártás;
 - gyártás, termelés;
 - oktatás;¹⁶
 - egyéb (például művészet és dizájn, orvostudomány, divat).
2. A nyomtatás folyamata alapján:
 - Fused Deposition Modelling/Fused Filament Fabrication (FDM/FFF);
 - Stereolithography (SLA);
 - Selective Laser Sintering (SLS);
 - egyéb nyomtatók.
3. Az alapanyag típusa alapján:
 - műanyagok nyomtatására alkalmas nyomtatók: az FDM, az SLS, az SLA és egyéb technológiák jellemzően műanyag alapanyagokat használnak, például PLA, ABS stb.;
 - fémek nyomtatására alkalmas nyomtatók: az SLS, az Atomic Diffusion Additive Manufacturing (ADAM) és az Electron Beam Melting (EBM);
 - egyéb nyomtatók (kerámia, beton, étel stb.)

A napjainkban elérhető nyomatási technológiák és alkalmazások száma a felhasználói igények megjelenésével és bővülésével együtt folyamatosan nő. Általánosságban kijelenthető, ami a kutatásunkra kifejezetten igaz, hogy a megvalósítandó projektnek leginkább megfelelő technológiát és alapanyagot kell kiválasztani a cél eléréséhez (4. ábra).

¹⁵ VÉGVÁRI–HEGEDŰS–ZENTAY 2023.

¹⁶ GYARMATI–HEGEDŰS–GÁVAY 2022.



4. ábra: Nyomatási alapanyag kiválasztása 3D-nyomatáshoz

Forrás: a szerzők felvétele

A gyártástechnológiában végzett folyamatos kutatásoknak és fejlesztéseknek¹⁷ köszönhetően a 3D-nyomatásnak napjainkra többféle típusa is kialakult, amelyeket attól függően tudunk csoportosítani, hogy a tárgyak kinyomtatásához milyen eljárást alkalmaznak, és milyen anyagot használnak. Az alábbiakban azokat a releváns 3D-nyomatási módszereket soroljuk fel és ismertetjük röviden, amelyek a kéziszerszámok nyomtatása során biztosíthatják az elvárt eredményt:

1. Az FDM/FFF (Fused Deposition Modelling/Fused Filament Fabrication) szálhúzásos eljárásban hőre lágyuló, tekercsben lévő műanyag szálakat, úgynevezett filamenteket olvasztanak fel, amit egy mozgó nyomtatófej segítségével fúvókán keresztül rétegről rétegre raknak le a tervezett test létrehozásához. Az így lerakott egyes rétegek mindig hozzátapadnak az előzőhöz. Az FDM/FFF nyomtatási technológia napjainkra széles körben elterjedt, mivel alacsony bekerülési és fenntartási költség mellett széles alapanyag-kínálat érhető el.
2. Az SLA- (Stereolithography) technológia alapján működő 3D-nyomtatók a tárgyak elkészítéséhez fényre szilárduló folyékony fotopolimer műgyanta alapanyagokat használnak, amelyeket az építési területen rétegről rétegre fektetnek le, majd egy lézer segítségével rétegről rétegre kötnek össze, keményítenek meg. Ez a technológia teszi lehetővé a legpontosabb és legapróbb részletek megjelenítésére szolgáló nyomtatást.
3. Az SLM- (Selective Laser Melting), azaz a fémporok szelektív lézerolvasztása elven működő eljárás az SLS-eljáráshoz hasonlóan, a porágyfúzió elvén működő additív gyártási technológia, amelynek során a nyomtató egy nagy energiájú lézersugarat használ fel

¹⁷ KARA et al. 2023.

a fémpor megolvasztáshoz. Szinte bármilyen összetételű fémporból teljes értékű, nagy pontosságú – sokszor azonban nem megfelelő felületi minőségű¹⁸ – gyártmányokat lehet előállítani, ezáltal akár a harc- és gépjárművek, munkagépek vagy repülőeszközök fém alkatrészei is rövid időn belül reprodukálhatók. Szükség esetén tábori körülmények között is nyomtathatunk alkatrészeket, ezzel jelentősen lerövidíthető az alkatrész-utánpótlás, ezáltal a javítás és az újra hadrendbe állítás folyamata.¹⁹

4. Az SLS- (Selective Laser Sintering), azaz a szelektív lézer szinterezés technológia alapján működő 3D-nyomtatók por állagú alapanyagokat (műanyag, fém stb.) használnak az építésre. A nyomtatás során a nyomtatófej az alapanyagot a nyomtatókamra tálcájára a kívánt rétegvastagságban elteríti, majd egy precíz lézer ezt felolvasztja. A nyomtató a tárgyat rétegről rétegre, azok összeolvasztásával hozza létre. A technológiának az a különlegessége, hogy a nyomtatás során a teljes munkatér kihasználható, és nincs szükség támaszszerkezetekre sem. A fel nem használt por ugyanis kitölti a tárgyak közötti teret, ezzel pedig egyúttal elvégzi az alátámasztást is. Ez a technológia alkalmas tartós alkatrészek gyártására.
5. A Polyjet nyomtatók folyékony fotopolimer cseppeket kötnek össze egy UV- (ultraviola) fényforrás segítségével. A Polyjet nyomtatási technológia jelentős előnye, hogy akár nagyméretű részletes prototípus-alkatrészek is gyárthatók kiváló felületi minőséggel, mérettartással és színkeveréssel, azaz többféle anyag akár egyszerre nyomtatható ugyanabban az elemben.
6. A Binder Jetting eljárásban az egyes rétegekben finomszemcsés poros alapanyagra kötőanyagot permeteznek, aminek megszilárdulása révén kialakul a tervezett forma. Ez az eljárás lehetővé teszi több szín és alapanyag használatát egyetlen nyomtatás során.
7. A DLP- (Digital Light Processing) nyomtatók fotopolimer alapanyagot használnak fel a tárgyak felépítésére, amelynek során egyszerre egész rétegeket keményítenek meg egy fényforrás és digitális tükör felhasználásával. Nagy felbontású egyedi modellek, alkatrészek és öntőminták gyártására alkalmas például a fogtechnikában vagy az ékszeriparban.
8. Az EBM (Electron Beam Melting) 3D-nyomtatók fémpor alapanyagot olvasztanak fel egy elektronnaláb segítségével, így építik fel a tárgyat rétegről rétegre. Ez a technológia elsősorban fém alkatrészek gyártására használható.
9. A DMLS- (Direct Metal Laser Sintering) technológia alapján működő 3D-nyomtatók az SLS-nyomtatókhoz hasonlóak, azzal a különbséggel, hogy ezek fém alapanyagot használnak fel az alkatrészek előállításához. Ezzel a módszerrel nagy szilárdságú, komplex fém alkatrészeket is lehet készíteni.
10. A CJP- (Color Jet Printing) technológia olyan additív gyártási eljárás, amely egyaránt alkalmas többszínű (multicolor) ajándékok, koncepcionális modellek vagy építészeti tervek kicsinyített megvalósítására. A nyomtatás kompozit por alapanyag felhasználásával történik, akár festék hozzáadásával, amit rétegenként ragasztó köt össze. A rétegek vastagsága körülbelül 0,1 mm.

¹⁸ MARKOVITS–VARGA 2023.

¹⁹ VÉGVÁRI 2023.

Az ismertetett 3D-nyomatási technológiák különböző lehetőségekkel és korlátokkal, előnyökkel és hátrányokkal egyaránt rendelkeznek, amelyek miatt elsősorban a végtermékkel szemben elvárt tulajdonságok függvényében kell kiválasztani a legmegfelelőbbet. Az optimális típus kiválasztása nagymértékben függ továbbá az alkalmazási körülményektől, az alapanyagtól és a költségvetéstől is.

A bemutatott technológiák mellett egyébként még számos más, speciális 3D-nyomatási módszer (például betonnyomatás, élelmiszer-nyomatás, kerámianyomatás, szervnyomatás stb.) is létezik, amelyek azonban nem relevánsak a kutatott téma vonatkozásában, ezért ezeket nem ismertetjük részletesebben.

A 3D-nyomatás során felhasznált alapanyagok bemutatása

A 3D-nyomatás során számos különböző alapanyagot használnak, amelyek közül a végtermékkel szemben megfogalmazott követelmények, a fajlagos költségek, valamint az alkalmazott nyomtató típusa alapján kell kiválasztani a legmegfelelőbbet. Az alapanyagok sajátos tulajdonságai ugyanis alapvetően befolyásolják a kinyomatott tárgy fizikai tulajdonságait, mint például a szilárdság, tartósság, kopásállóság, hőállóság stb. Ezek az úgynevezett filamentek az elkészült tárgyak minősége mellett alapvetően befolyásolják a nyomtatási folyamatot is. Tekintettel arra, hogy a 3D-nyomatási technológiával elkészített termékek minősége és különböző tulajdonságai nagyban függenek a nyomtatáshoz használt nyomtató alapanyagok, a filamentek jellemző tulajdonságaitól, ezért a kutatásunk szempontjából relevánsabb tulajdonságokat az alábbiakban soroljuk fel:

- anyagösszetétel;
- nyomtathatóság;
- nyomtatási hőmérséklet;
- szilárdság;
- keménység, kopásállóság;
- ütésállóság;
- hőállóság, UV-állóság;
- kémiai hatásokkal szembeni ellenállás, vegyszerállóság;
- nedvességfelvétel;
- vetemedés, zsugorodás;
- rétegtapadás;
- elektromos vezetőképesség.

A gyártók által megadott alapanyag-tulajdonságok összevetése a nyomtatási feladat követelményeivel segít a megfelelő anyag kiválasztásában. A nyomtatáshoz használt alapanyagok közül az optimális kiválasztás a gyakorlatban az alapján történik, hogy melyik anyag biztosítja legjobban a végtermékkel szemben elvárt tulajdonságokat, mi a termék tervezett felhasználása, milyen nyomtatási technológia áll rendelkezésre, valamint milyen anyagi lehetőségek

állnak rendelkezésre a gyártás feltételeinek biztosításához. A sikeres minőségi nyomtatás érdekében továbbá elengedhetetlen a nyomtató egyedi beállítása, amit az alapanyagok gyártó által megadott, a fenti felsorolásban olvasható tulajdonságai, valamint ajánlott nyomtatási beállításai alapján szükséges elvégezni.

Az elmúlt években a 3D-nyomtatási technológiák fejlődésének és bővülésének köszönhetően napjainkra az alapanyagoknak is széles választéka áll rendelkezésre annak érdekében, hogy minél komplexebb geometriájú tárgyakat lehessen elkészíteni. A következő felsorolás tartalmazza azokat az általános alapanyagtípusokat, amelyeket napjainkban 3D-nyomtatásra használnak, és számunkra relevánsak a kéziszerszámgyártásban:

1. Műanyagok

- ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene): erős, kopásálló és strapabíró műanyag, gyakran használják alkatrészek nyomtatására. Kényes a nyomtatási terület állandó hőmérsékletére, és a nyomtatási folyamat során erős szag képződik.
- Nylon: erős, kopásálló és könnyű műanyag, ami miatt többféle alkalmazásban jól használható. Kiváló mechanikai tulajdonságokkal és vegyszerállósággal rendelkezik.
- ASA (Acrylonitrile Styrene Acrylate): széles körben használható hőre lágyuló műanyag jó UV-állósággal, valamint kedvező mechanikai és esztétikai tulajdonságokkal. Alkalmas a legtöbb általános célú 3D-nyomtatási feladathoz, beleértve a prototípusok készítését, valamint a kis darabszámú gyártási alkatrészeket is. Sok színben elérhető alapanyag.
- DIRAN: tartós és szívós, nylon alapú hőre lágyuló műanyag.
- PLA (Polylactic Acid): könnyen, akár alacsonyabb hőmérsékleten is jól nyomtatható merev és erős műanyag, ami kevésbé hajlamos a torzulásra. Jó UV-állósággal és rétegtapadással, ugyanakkor alacsony nedvességállósággal rendelkezik.
- PETG (Polyethylene Terephthalate Glycol-Modified): erős, tartós, kopásálló és hőálló anyag, jó mechanikai tulajdonságokkal. A nedvességgel és különböző vegyszerekkel szembeni ellenállása nagy.
- TPU (Thermoplastic Polyurethane): rugalmas műanyag jó ütésállósággal és kopásállósággal.
- PC (polikarbonát): az egyik legerősebb anyag az FDM-nyomtatáshoz. Jó alternatívája az ABS-nek, mivel a tulajdonságai hasonlóak. UV-érzékeny. Magas szakító- és hajlítószilárdsággal rendelkezik, ami miatt ideális választás prototípusok, szerzőszámok és szerelési készülékek készítéséhez.
- HIPS (High-Impact Polystyrene): nagy tartósságú és ütésálló polisztirol. Mechanikai tulajdonságai hasonlóak az ABS-hez. Nem vetemedik, mérsékeltlen rideg és kis sűrűségű, ezáltal könnyű anyag.

2. Fémek

- bronzötvezetek;
- rézötvezetek;
- egyéb fémek (rozsdamentes és szerszámacélok, alumínium, titán, nemesfémek stb.).

3. Kompozitok

- műanyag és fémpor keverékek;
- műanyag és más, nemfém porok keveréke (például farost, gipsz, kőpor stb.);
- műanyag és mikroszálak (például mikroméretű szénszálak).

A fenti felsorolásban említett műanyagba ugyanakkor különböző erősítő szálak is adagolhatók annak érdekében, hogy azok kedvezően befolyásolják, javítsák a végtermék anyagjellemzőit, például növeljék az alkatrészek szilárdságát, szívósságát és egyéb mechanikai tulajdonságait.²⁰ Ezek a folyamatos erősítőszál-típusok:

- szénszál (például szilárdság és merevség növelése);
- kevlar (például szívósság és kopásállóság növelése);
- üvegszál, hőálló üvegszál (például szilárdság, szívósság és hőállóság növelése).

Ezek azok a nyomtató alapanyagok, amelyek felhasználásával a kutatási céljainkat várhatóan sikerül elérni, ezért a továbbiakban ezekkel végezzük el a vizsgálatokat.

A szikramentes kéziszerszámok gyártására alkalmas 3D-nyomtatók és alapanyagok

A szerszámtervezési folyamat utolsó fontos elemeként a különböző nyomtatókkal és alapanyagokkal készített szerszámokat vizsgáljuk meg elsősorban az alapján, hogy azok mindenben megfelelnek-e az előírt jogszabályi és elvárt minőségi követelményeknek. Az elvárásoknak mindenben megfelelő szerszámokat ezt követően összehasonlítjuk egymással a költségek, a minőség és a gyárthatóság alapján.

Tekintettel arra, hogy a kéziszerszámok tulajdonságát döntően a felhasznált nyomtató alapanyagok tulajdonságai határozzák meg, ezért a kutatási célok eléréséhez elsősorban a megfelelő alapanyagot kell kiválasztani, amihez az alábbi szempontokat szükséges figyelembe venni.

Szempontok az alapanyag kiválasztásakor:

- alkalmazás;
- mechanikai tulajdonságok;
- felhasználói tapasztalat;
- hőmérsékleti igények;
- szín és megjelenés;
- környezeti tényezők;
- költség.

A megfelelő alapanyagok kiválasztása után az alapanyagok nyomtatására alkalmas nyomtatók kiválasztása a következő lépés, amihez az alábbi szempontokat célszerű figyelembe venni.

²⁰ ZENTAY–HEGEDŰS–VÉGVÁRI 2023a.

Szemponatok a 3D-nyomtató kiválasztásakor:

- alkalmazás;
- nyomtatási technológia;
- nyomtató mérete;
- nyomtatási sebesség;
- pontosság és felbontás;
- anyagkompatibilitás;
- felhasználói tapasztalat;
- karbantartási igény;
- költség;
- környezeti tényezők;
- gyártási kapacitás.

Kutatásunk fontos részeredményeként arra a következtetésre jutottunk, hogy a szikramentes kéziszerszámok 3D-nyomtathatóságával szemben megfogalmazott releváns követelményeket és elvárásokat elsősorban az FDM-technológia alapján működő nyomtatók, valamint a különféle fémnyomtatók teljesíthetik. Az ezekkel a nyomtatókkal készített szerszámokat a kutatási folyamat következő elemeként részletes anyagvizsgálatoknak vetjük alá, majd azt követően a szükséges módosításokat és fejlesztéseket is elvégezzük.

A 3D-nyomtatáshoz használható alapanyagok közül várakozásaink alapján a szénszállakkal erősített poliamid, PLA-, ABS- vagy PETG-filamentek felhasználásával érhetjük el leginkább a kívánt eredményt. A fémporok közül a bronz- és rézötvözetek alkalmazása jó megoldásnak bizonyulhat, azonban felhasználásuk további kutatást és vizsgálatot igényel, mivel pontos összetételükről a cikk lezárásakor nem rendelkezünk elegendő információval.

Összefoglalás

A 3D-nyomtatás mára a mindennapok részévé vált, mivel az olcsóbb nyomtatók sokak számára elérhetőek, a legmodernebb nyomtatókkal pedig az ipari szereplők jelentősen tudják csökkenteni a termékeik fejlesztésére fordított időt, energiát és pénzt.

Minden olyan munkahelyen, ahol a robbanásveszély reális kockázatot jelenthet, fontos a megfelelő szikramentes biztonsági kéziszerszámok alkalmazása a munkavégzés során, amit a jogszabályi kötelezettség, a munkavállalók és a környezet biztonsága egyaránt megkövetel. A piacon jelenleg megvásárolható kéziszerszámok ugyanakkor drágán, csak az átlagos használatra szánthoz képest többszörös áron beszerezhetőek.

A 3D-nyomtatási technológiában rejlik, még kiaknázatlan lehetőségek, továbbá a kereskedelem jelenleg beszerezhető szikramentes szerszámok magas ára motiválták kutatásunkat ezen a területen. Az additív gyártástechnológiában végzett kutatásunk során jutottunk arra a következtetésre, hogy 3D-nyomtatók alkalmazásával jelentősen olcsóbban tudunk jó néhány szikramentes biztonsági kéziszerszámot előállítani anélkül, hogy az a biztonság és a használhatóság rovására menne.

Az alapanyagok közül a kutatásunkban kiemelten kezelt filamentek, valamint fém- és műanyagporok alkalmasak lehetnek a kéziszerszámok gyártására, ahol a szikramentes használat biztosítása mellett kiemelkedő mechanikai tulajdonságok, például szilárdság és tartósság szükségesek. Az alapanyagok sokfélesége, egyre könnyeb hozzáférhetősége biztosítja azokat a további előnyöket, amivel egyre versenyképesebbé válik a 3D-nyomatás a hagyományos gyártási eljárásokhoz képest. A 3D-nyomatási technológiák folyamatos fejlesztése pedig nemcsak új alkalmazási területeket nyithat meg a felhasználók előtt, hanem további előnyöket is jelenthet, amihez az alapanyagok fejlesztése és választékbővítése is szükséges. Az additív gyártástechnológia, ennek részeként a 3D-nyomatási folyamatot megelőző szerszámtervezés lehetővé teszi például, hogy a szerszámot használó személy adottságainak legjobban megfelelő, egyedi kialakítású szerszámokat tudjunk gyártani. Az ergonómia érvényesítése megjelenik az adott tárgy kialakításában, méreteiben, alakjában és a súlyában. Személyre (azaz egyedi méretre) szabhatjuk például a szerszámok fogantyúinak méretét vagy a biztosító- és kezelőelemek elhelyezését is.

Kutatásunknak, azaz a szikramentes kéziszerszámok gyártási folyamatának és megfelelősége igazolásának a következő fontos eleme annak bizonyítása, hogy a 3D-nyomtatással készített szerszám teljesíti a szikramentes szerszámokkal szemben megfogalmazott biztonsági követelményeket.

Felhasznált irodalom

- 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>
- KARA, Yahya et al. (2023): A Novel Method and Printhead for 3D Printing Combined Nano-/Microfiber Solid Structures. *Additive Manufacturing*, 61 Paper: 103315. Online: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2022.103315>
- MARKOVITS Tamás – VARGA László Ferenc (2023): Investigating the Surface Roughness of 3D Printed Metal Parts in Case of Thin 20 µM Build Layer Thickness. *Journal of Materials Research*. Online: <https://doi.org/10.1557/s43578-023-01254-9>
- 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 (2023): 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 (2023a): A 3D nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei II. rész: 3D-s nyomtatott alkatrészek mechanikai tulajdonságai minőségjavításának lehetőségei. *Haditechnika*, 57(1), 49–55. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.1.09>
- ZENTAY Péter – HEGEDŰS Ernő – VÉGVÁRI Zsolt (2023b): A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei III. rész: A gyártási hibák hatásának mérséklése, hibaküszöbölési megoldások. *Haditechnika*, 57(2), 57–62. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.2.11>

Jogi források

- 35/2016. (IX. 27.) NGM rendelet a potenciálisan robbanásveszélyes környezetben történő alkalmazásra szánt berendezések és védelmi rendszerek vizsgálatáról és tanúsításáról
- 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról
- 142/1999. (IX. 8.) Korm. rendelet a tűzszerészeti mentesítési feladatok ellátásáról
- Directive 1999/92/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 1999 on Minimum Requirements for Improving the Safety and Health Protection of Workers Potentially at Risk From Explosive Atmospheres

Kovács Andrea,¹  Elek Barbara² 

Sugárzó hőnek kitett fák gyulladásának veszélyei és az égéskésleltetés lehetőségei

Dangers of Ignition of Trees Exposed to Radiant Heat and Possibilities of Delaying Combustion

Tűzesetek során a fa mint építőanyag a legéghetőbb anyagok közé tartozik 300 °C körüli gyulladáspontjával. Tűzek létrejöttékor a lángterjedést minden esetben sugárzó hőterhelés előzi meg, amely eltérő mértékű károsodást okozhat a különböző faanyagokban, valamint hatására beindulhat a pirólízis is. Ezért kiemelt figyelmet kell fordítani a fák sugárzó hővel szembeni viselkedésének és az elleni védelem kutatásának is. Munkánkban olyan hazai természetes fafajok (erdei fenyő, lucfenyő, gyertyán, akác, bükk) viselkedését vizsgáltuk, amelyek épületszerkezeti anyagként és belsőépítészeti szerkezeti anyagként is megjelennek az építményekben. Tanulmányunkban azt vizsgáltuk, hogy a kereskedelemben kapható égéskésleltetőkkel kezelt faanyagok hogyan viselkednek sugárzó hőnek kitéve. A károsodás mértékét tömegveszteség mérésével adtuk meg. Emellett a minták mechanikai és felületi károsodása sem volt elhanyagolható. A faanyagokra rendszeresített és ismert Lindner-módszernél alkalmazott szabványos méréstől eltérően a sugárzó hőt biztosító berendezésünk egyedi gyártású, nem szabványos kialakítású berendezés volt.

Kulcsszavak: fák hőbomlása, égéskésleltetés mechanizmusai, égéskésleltető anyagok

With the ignition point of around 300 °C, wood as a building material is one of the most flammable materials in the case of fire. When fires occur, the spread of flames is always preceded by radiant heat load, which can cause damages of varying degrees to the different wood materials, and pyrolysis can also start as a result. Thus, special attention should be paid to the research of the thermal behaviour of wood in the case of radiant heat and of the possibilities of protection against it. In our work, we examined the behaviour of the wood material of national natural tree species (scots pine, spruce, hornbeam, acacia, beech) that appear in buildings as structural materials

¹ Tanár, Zalaegerszegi SzC Keszthelyi Asbóth Sándor Technikum, e-mail: andreakovacs1513@gmail.com

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

and interior design structural materials. In our study, we examined how wood materials treated with commercially available combustion delay materials behave when exposed to radiant heat. The extent of damage was determined by measuring mass loss. In addition, the mechanical and surface damage of the samples was not negligible. Unlike the standard measuring equipment used by the Lindner-method, our device providing radiant heat was a custom-made device with a non-standard design.

Keywords: *thermal decomposition of wood, mechanisms of combustion delay, combustion delay materials*

Bevezetés

Napjainkban mind a természetes, mind az épített környezetünkben keletkező tüzek egyre nagyobb figyelmet kapnak. Ennek során nagy mennyiségű faanyag válik a tűz martalékává. Természetes környezetünkben a nagy mennyiségű faanyag égésével járó erdőtüzek száma folyamatosan nő a globális felmelegedés következtében.³ Épített környezetünkben építményeink, épületeink, valamint műemléképületeink faanyagai és faszervezetei vannak kitéve a tűz általi pusztításnak. Ezzel párhuzamosan folyamatosan nő a fa építészeti felhasználása világszerte. A korábbi évek, évtizedek tapasztalatai azt mutatják, hogy a faanyagú szerkezetek élettartalma jelentősen csökkenhet megfelelő faanyagvédelem nélkül. Az égéskésleltetési célt szolgáló kezelési eljárások alkalmazása pedig a tűzvédelmi szempontok érvényesítése végett válik egyre inkább elengedhetetlenné.

Célkitűzések

A fa és fa alapanyagú építési termékek éghetőségét elsődlegesen közvetlen lánghatással vizsgálják. Az éghetőségükre vonatkozó MSZ 9607:2020 szabvány is közvetlen láng gyújtóforrás alkalmazását írja elő.⁴ A sugárzó hővel szembeni viselkedés vizsgálata nem tartozik az elterjedt vizsgálatok közé. A szabványos Lindner-módszerrel végzett faéghetőségi vizsgálatok eredményei a különböző fák égetése során mutatkozó eltérő fizikai, kémiai változásokra és az alkalmazott égéskésleltető anyagok hatásosságára hívják fel a figyelmet.⁵

Azonban az égéskésleltető szereknek lánggal szembeni viselkedése mellett egyéb hatásuk feltárása is rendkívül fontos lehet a faanyagok kezelésének tervezésekor. A világszerte zajló vizsgálatok rámutatnak az égéskésleltető szerrel kezelt és kezeletlen fa és fa alapanyagú égési termékek eltérő füstképződésére és a mechanikai alaktartóssági különbségekre. Mivel sugárzó hő hatására bekövetkező jelenségekre vonatkozó adatok kevésbé állnak rendelkezésre, vizsgálataink során a famintáinkat nemcsak közvetlen lánghatásnak, hanem sugárzó hőnek

³ BODNÁR–TEKNŐS 2023.

⁴ MSZ 9607:2020.

⁵ GYÖRI et al. 2021; KERÉKES–LUBLÓY–KOPECSKÓ 2018; LUBLÓY et al. 2023.

is kitettük. A vizsgálatot azért is tartottuk különösen fontosnak, mivel tűz esetén a lángterjedést minden esetben sugárzóhő-hatás előzi meg, azaz a fát legelőször sugárzó hő éri, aminek hatására a faanyag már károsodást szenvedhet.⁶

Tanulmányunkkal szeretnénk felhívni a figyelmet arra, hogy a fa és a fa alapanyagú építési termékek, illetve égéskésleltetővel kezelt fa és fa alapanyagú építési termékek éghetőségét a közvetlen lánghatásnak való kitettség mellett érdemes sugárzó hőnek való kitettség esetében is vizsgálni.

A sugárzó hő szerepe a fa éghetőségének vizsgálatánál

A fa szabványos Lindner-módszerrel végzett éghetőségi vizsgálata során közvetlen lánghatásnak van kitéve az anyag. Azonban több nemzetközi szakirodalom is felhívja a figyelmet a sugárzó hő hatására.⁷

Ezek a tanulmányok leginkább a különböző fafajok gyulladási hőmérsékletét hasonlítják össze sugárzóhő-hatás során. Ókori épületekben gyakran előforduló fafajok (ciprus és fenyő) Cone-kaloriméteres vizsgálata során, 25, 35 és 50 kW/m²-es hőterhelést alkalmazva egy olyan gyulladási integrál modellt tudtak megalkotni a kutatók, amely révén előre megadható adott fafajta várható gyulladási hőmérséklete és ideje. A modell lehetővé teszi hosszú távon a természetes módon öregedő fák és faszervezetek égési jellemzőiben bekövetkező változások nyomon követését. Ezenkívül fontos információkat szolgáltathat a fa és fa alapanyagú építési anyagokból és épületszerkezetekből épített műemléképületek tűzbiztonságának növeléséhez.⁸

Egy másik tanulmányban a vizsgálati modellben a hőfluxust fokozatosan emelve, lineárisan növekvő sugárzó hő mellett előre jelezték adott fafaj öngyulladási idejét. Mind a modellt, mind az elvégzett mérések eredményei azt mutatták, hogy a gyulladási idő hatványfüggvényként fejezhető ki.⁹

A fa égését megelőző bomlást és az égést befolyásoló folyamatok

A faanyag mint cellulóz viszonylag stabil poliszacharid, amely a növényi sejt sejtfalában található. Ez a legnagyobb mennyiségben előforduló szerves anyag a természetben. Növényben ligninnel és hemicellulózzal együtt fordul elő. A cellulóz, a hemicellulóz és a lignin a fa fő alkotóelemei. Hődegradációs reakcióképességük adja a pirolízis alapú technológiák alapját. A cellulóz mikrofibrillumok a nanoméretű sejtfal szerkezetében a hemicellulóz-lignin-mátrixba ágyazódnak, amelyek tulajdonságai a fa hőreaktivitását is befolyásolhatják.¹⁰ Ez az összefüggés

⁶ HAJDU-KÖRNYEI-KUTI 2023.

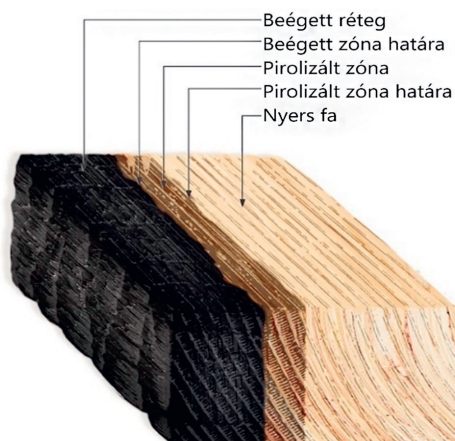
⁷ HAJDU et al. 2022.

⁸ LIU et al. 2023.

⁹ JI et al. 2006.

¹⁰ WANG et al. 2021b.

azonban nem teljesen tisztázott még, mivel a fakomponensek hőreaktivitását elsősorban izolált komponensek felhasználásával vizsgálták eddig. A termogravimetriás (TG) analízist gyakran alkalmazzák ilyen vizsgálatokhoz, de tudomásunk szerint az eredményeket még nem elemezték a fakomponensek degradációja szempontjából különböző hőmérsékleteket véve figyelembe.¹¹



1. ábra: Beégtési és pirolizált zóna egy fadarabon

Forrás: DI HA LE 2019

A cellulóz bomlási folyamata rendkívül bonyolult belső reakció, amely több tényező együtt hatásának eredménye.¹² A bomlás során a kutatók három független lebomlási folyamatot feltételeznek. Az oxidációt, a hidrolízist és a pirolízist, amelyek mindegyike meghatározott hőmérsékleti tartományon belül működik csak.¹³

A holocellulózban lévő cellulóz termikus lebomlása a pirolízis hőmérsékletétől függően két szakaszban megy végbe. A cellulóz egy része 320 °C alatt, a többi rész pedig magasabb hőmérsékleten bomlik le.¹⁴

A hőmérséklet növekedésével a faanyag bomlásnak indul, ami különböző zónákat eredményez a fa belsejében (1. ábra), eközben veszít nedvességtartalmából, tömegéből és szilárdsági tulajdonságából. A faanyag gyulladáspontja függ a fa fajtájától, sűrűségétől, hővezető képességétől, nedvességtartalmától, továbbá a hőközlés idejétől és a környezeti feltételektől.

¹¹ ZHU-LI-FENG 2021.

¹² BEDA-MOHAI 2012.

¹³ CHEIM et al. 2012.

¹⁴ WANG et al. 2021a.

Égéskésleltető anyagok és mechanizmusuk

Az égéskésleltetés a teljes körű faanyagvédelem egyik eleme, amelynél figyelembe kell venni a tűzvédelmi követelményeket és az esztétikai szempontokat is. Az építőipari faanyag tűz elleni védelmét nehezíti az a tény, hogy biológiai károsítók ellen szintén védelemre szorul. A kivitelezés és a védőszer kiválasztásának szempontja nagyon összetett szakmai feladat, mert a megfelelő védelemmel párhuzamosan különböző esztétikai igényeket is szem előtt kell tartani, esetleg a faszervezetet ragasztani vagy egyéb anyagokkal társítani szükséges.

Elvárások az égéskésleltető anyagokkal szemben:

- az égés során erősen mérgező gázok ne szabaduljanak fel;
- a fa szilárdságát ne gyengítsék, ne növeljék a szerkezet tömegét;
- a felületi bevonatok vízgőzáteresztők, ütésállók és tartósak legyenek;
- a felületi bevonatok ne legyenek toxikusak;
- a különböző faanyagvédőszerrel kezelt felületre felvihetők, illetve ezekkel kombinálhatók legyenek;
- gyorsan száradjanak és korszerű, termelékeny eszközökkel felhordhatóak legyenek;
- a fa esztétikus megjelenését ne rontsák;
- védőhatásuk időtartama tartós legyen, és gazdaságosak legyenek.¹⁵

Az égéskésleltetők hatásmechanizmusuk szerint öt fő kategóriába sorolhatók.¹⁶ Ezek a fő kategóriák az alábbiak:

- Mechanikusan ható égéskésleltetők: a kezelt fafelületeken szigetelő réteget képeznek, amely megakadályozza, hogy az oxigén a felületre jusson. Ez megállítja az oxidációt és megakadályozza a lebomlott gázok kibocsátását, mindezt a szigetelőréteg leválása nélkül.
- Olvadékképző anyagok: hőhatásnak kitéve olvadékbevonatot hoznak létre a kezelt fafelületeken, amely gyorsítja a keletkező hő eltávolítását.
- Habképző védőszerek: ezek a késleltető anyagok hőszigetelő habréteget képeznek a hőnek kitett fa felületén. Ez a réteg megakadályozza, hogy a bomlástermékek a fa felületére kerüljenek.
- Oltógázokat képző égéskésleltetők: az égéskésleltető anyagokból hő hatására gázok képződnek (például ammónia, szén-dioxid, nitrogén-monoxid), amelyek oxigénkiszorító hatásúak.
- Szenesítő égéskésleltetők: az erős szervesetlen savak hő hatására elszenesítik a fafelületeket, ezáltal lassítva az égést.

¹⁵ PLUZZIK – SZITNYAINÉ SIKLÓSI – VARGYAY 1993.

¹⁶ LUBLÓY et al. 2023.

A legfrissebb kutatások egy újabb, hatodik hatásmechanizmust is kezdenek feltárni. Mégpedig azt, hogy az egyes égéskésleltető vegyületek hogyan növelik meg az égés aktiválási energiáját annak kezdeti szakaszában.¹⁷

Az égéskésleltető szerek fejlesztése és mechanizmusuk feltárása messze nem fejeződött be, sőt egyre inkább új fejlesztési irányokat lehet nyomon követni a nemzetközi szakirodalomban. Az eddigi jól ismert égéskésleltetési mechanizmusok mellett a szakirodalom egyre nagyobb figyelmet irányít az adalékok aktiválásienergia-növelő szerepére. Újszerű fejlesztésként érdemes megemlíteni a grafitadalékokat mint aktiválási energiát növelő égéskésleltető adalékanyagot.¹⁸

Vizsgálati minták és előkészítésük

A kísérletekhez épületszerkezetekből és belsőépítészeti elemekből származó szerkezeti – különböző fafajokból különböző szelvényű és megmunkálású, ragasztási technológia nélkülözésével készült – faanyagokat használtunk fel mintaként (1. táblázat).

1. táblázat: A méréshez használt faanyagok sűrűsége

Faanyag	Sűrűség (g/cm ³)
Lucfenyő	0,43–0,47
Erdei fenyő (borovi)	0,49–0,52
Gyertyán	0,80–0,83
Akác	0,77
Bükk	0,68

Forrás: a szerzők szerkesztése



1. kép: Minták és tömegmérés a vegyszeres kezelés előtt

Forrás: a szerzők felvétele

¹⁷ VOTH et al. 2019; MENSAH et al. 2023.

¹⁸ ZHENG-LI-EK 2019; ZHU-LI-FENG 2021.

Elsődlegesen az épületek fedélszékéhez leginkább használt erdei fenyő és lucfenyő, valamint a belsőépítészetben használt gyertyán, akác, bükk famintákon végeztük el vizsgálatainkat. Az MSZ 9607:2020 szabvány előírásának megfelelően mintáinkat nedvességtől teljesen elzárva kondicionáltuk. A kondicionálás 14 napig 23 ± 2 °C hőmérsékletű és $50\pm 5\%$ relatív páratartalmú térben történt. Ezt követően 15 nap múlva elvégeztük a kísérleteket.

Minden fafajból 3-3 darab $100 \times 100 \times 10$ mm méretű mintát (1. kép) vágunk gyanta-erektől és göcsöktől mentes helyről.

Alkalmazott égéskésleltető favédőszerek

A kezelőanyagok kiválasztása során arra törekedtünk, hogy minél változatosabb szerekkel végezzük el a kísérleteket, amelyek közül egy oldószer bázisú, kettő pedig vizes bázisú volt. A háromféle kezelőszerszert mind hazai kereskedelmi forgalomban kapható. Kezelőanyagok az alábbiak voltak:

1. Kezelőanyag

- szerves, vizes bázisú, folyékony, kombinált impregnáló égéskésleltető favédőszerszer;
- hatóanyagok: bórvagyületek, foszfátok, szulfátok, izotiazolon;
- anyagszükséglet: mázolás és szórás esetén 2–4 rétegben, $190\text{--}200$ g/m² legalább két rétegben, áztatási idő 120 perc;
- tüzeset során nem gyúlékony, nem robbanásveszélyes, égést nem elősegítő;
- tényleges kezelés: mivel a fenyők nehezen telíthetők, ezért úgy döntöttünk, hogy a lucfenyő és erdei fenyő esetében a felületkezelési eljárást alkalmazzuk, tehát mázolásal 4 réteget, 20%-os sóoldatot hordtunk fel, a rétegek között 1-1 óra száradási időt tartva.

2. Kezelőanyag

- gomba és rovar elleni égéskésleltető beltéri favédőszerszer;
- hatóanyagok: bórsav, dinátrium-tetraborát-dekahidrát (bórax);
- anyagszükséglet: ecsettel vagy szórással egy rétegben felhordva $0,16$ l/m² mennyiségben;
- gyártói utasítás szerinti anyagszükséglet: ecsettel vagy szórással egy rétegben felhordva $0,16$ l/m² mennyiségben, amely felhordható áztatással, a felszívódott oldatot tömegméréssel kell ellenőrizni;
- tényleges kezelés: a próbatesteket (gyertyán és akác) a felhasználásra kész kezelőszerszerben felső oldalukon szeglemezzel lesúlyozva 24 órát áztattuk.

3. Kezelőanyag

- oldószer bázisú, kétkomponensű víztiszta akril bútorigipari fedőlakk;
- tényleges kezelés: a két komponenst (lakk és edző), a 10%-os oldatot a gyártói utasítás szerinti mázolásal 2 rétegben hordtuk fel a tiszta, pormentes felületre 1-1 óra száradási időt tartva a rétegek között. Végző száradáshoz 24 órát biztosítottunk.

Vizsgálati módszer

A sugárzó hővel végzett vizsgálatainkat egy egyedi tervezésű és készítésű műszerrel (2. kép) végeztük. Olyan vasmagot alkalmaztunk, amely képes volt 300 °C feletti hőmérsékletre felmelegíteni a fát. A 15 cm átmérőjű sugárzó vasmag a kocka formájú doboz egyik oldalán, függőleges helyzetben helyezkedett el. A kör alakú főzőlap közepe függőlegesen 18 cm távolságban volt a vizsgálóasztal síkjától, vízszintes irányban pontosan a berendezés közepén.



2. kép: Az egyedi tervezésű berendezésben elhelyezett fa mintaanyag helyzete a vasmag előtt

Forrás: a szerzők felvétele

A sugárzó hőt az elektromos fűtésű vasmag biztosította, aminek a hőmérsékletét egy digitális kijelzésű szabályozó egység segítségével állítottuk be. A vizsgálat során a berendezés acéllapját 650 °C-ig melegítettük. Amikor a sugárzó hőt adó lap elérte a 650 °C-ot, a síkjától 3 cm távolságra elé helyeztük a tartóállványon lévő mintadarabot. A lap állítható hőmérsékletű, túlhevülés ellen védett, továbbá gyárilag leszabályozott volt.

A vizsgálati módszer alapelve az volt, hogy pontosan lemérjük az égetés előtti fa próbatest tömegét, majd az égetést követően ismételten megmérjük a már kihűlt próbatestet, és a tömegek különbségéből meghatározott tömegveszteséget értékeljük. A vizsgálat 10 percig tartott, közben stopperrel mértük az időt, figyeltük és feljegyeztük azt, hogy milyen változások játszódnak le a faanyagon a sugárzó hő hatására.

A fenti sugárzó hővel végzett vizsgálat mellett elvégeztük a famintáink szabványos Lindner-módszer szerinti éghetőségi vizsgálatát is, amely során közvetlen lánghatásnak tettük ki a mintáinkat.

Mérési eredmények

Méréseinkhez az öt fafajból fafajonként kétféle mintát használtunk. Az egyik minta kezeletlen volt, míg a másik minta az előzőekben említett módon valamelyik égéskésleltető szerrel kezelt. Száradást követően sugárzó hőnek tettük ki a mintákat.

A 2. táblázat a faminták változásait mutatja 10 perces sugárzó hőnek való kitettséget követően. A vizsgálat folyamán rögzítettük a lángolás, a füstképződés, az izzás és a mechanikai elváltozás kezdetének idejét.

2. táblázat: A faminták fizikai és kémiai változásai (lángolás, füstképződés, izzás, mechanikai elváltozás) 10 perces sugárzó hőnek való kitettség során

Fafaj	Minta jele	Minta kezdeti tömege m1 (g)	Minta tömege kísérlet után m2 (g)	Δm : hő hatására bekövetkező tömegvesztesség (g)	Füst megjelenése (mp)	Izzás kezdete (mp)	Láng megjelenése (mp)	Deformáció (mp)	Hátoldal elszíneződik (mp)	Repedések megjelenése (mp)	Kiválik a vegyszer (mp)	Átég a fa (mp)
Lucfenyő	Kezeletlen	44	16,9	27,1	10	100	–	80	230	180	–	230
	1-es kezelőanyag 4 rétegben mázolvva	57,3	36,4	20,9	10	–	–	60	440	410	23	315
Erdei fenyő	Kezeletlen	56,7	22,2	34,5	15	155	140	40	480	120	270	–
	1-es kezelőanyag 4 rétegben mázolvva	56,1	36,6	19,5	10	300	–	90	510	250	270	–
Gyertyán	Kezeletlen	73,7	32,8	40,9	50	395	–	50	555	–	–	–
	2-es számú kezelőanyag, 24 óra áztatás	80,1	39,4	40,7	50	600 felett	–	240	600	240	–	–
Akác	Kezeletlen	77,6	17,2	60,4	50	105	190	180	300	180	–	300
	2-es számú kezelőanyag, 24 óra áztatás	78,9	46,9	32	35	470	–	60	600 felett	170	–	–
Bükk	Kezeletlen	64	14,1	49,9	20	180	–	120	395	120	–	–
	kezelőanyag, 2 rétegben mázolt	73,1	38,9	34,2	120	400	–	75	600	240	–	–

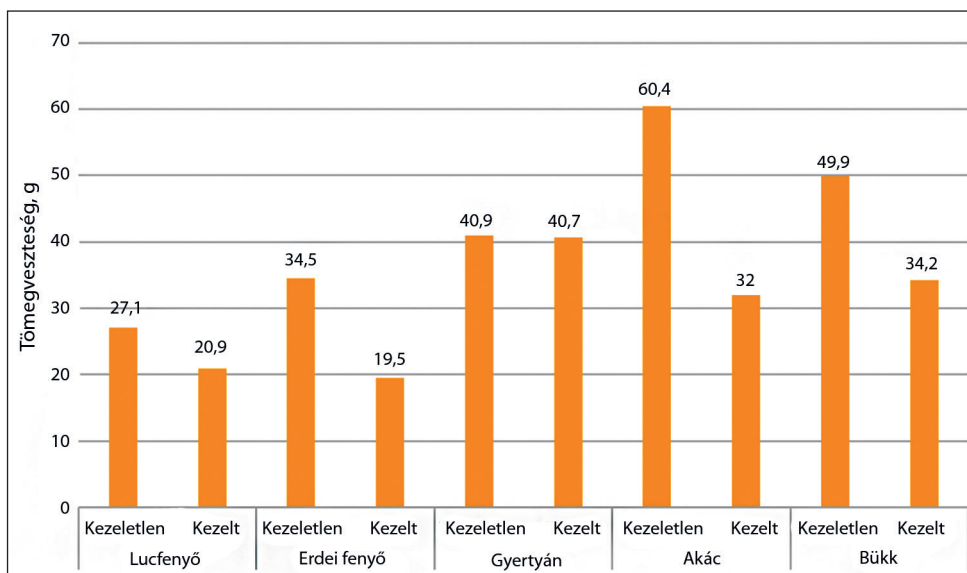
Forrás: a szerzők szerkesztése

Sugárzó hőnek kitett minták esetén is egyértelműen megmutatkozott az égéskésleltető szerek hatékonysága. Ez elsődlegesen a tömegvesztésbeli (2. ábra) különbségben jelentkezett. Ugyanis a tömegvesztés a kezelt mintaanyagok esetében kisebb mértékűnek adódott.

Érdekes módon a gyertyán viselkedése lényegesen eltért a többi mintától. A 2. táblázatba foglalt eredmények alapján megállapítható, hogy legellenállóbbnak tekinthető idő szempontjából mind az átégés, mind a füstképződés, mind a repedések keletkezésének bekövetkezésével szemben. Mechanikai szilárdságát még 300 °C körül is megtartotta.

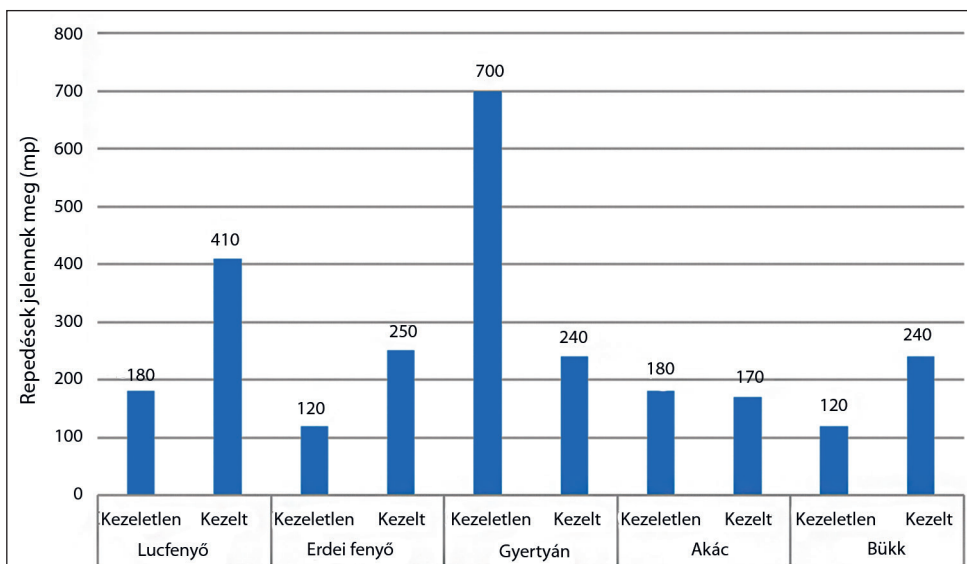
A repedések megjelenését vizsgálva a 3. ábra alapján elmondható, hogy a kezeletlen erdei fenyő és bükk mintadarabok hátoldalán viszonylag hamar keletkeztek repedések, míg

a kezeletlen gyertyán annak ellenére sem repedt meg, hogy 555 mp-nél már feketedett a mintadarab hátulja. A kezelt minták közül a lucfenyő repedt meg a legkésőbb (120 mp), amelynek ekkor a hátoldalán már 110 °C-ot mértünk.



2. ábra: Tömegvesztések kezeletlen és kezelt minták esetén sugárzó hőnek való kitettség során

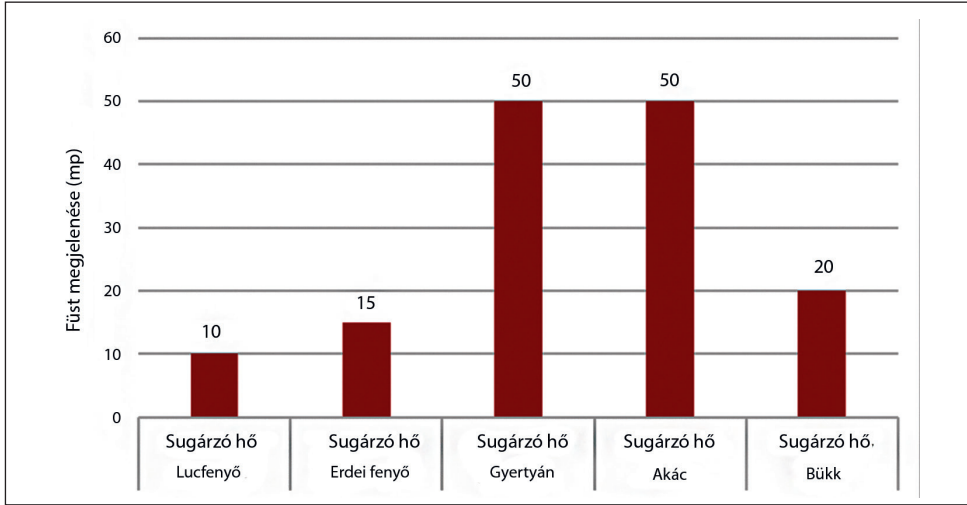
Forrás: a szerzők szerkesztése



3. ábra: Repedések megjelenése kezeletlen és kezelt minták esetén sugárzó hő hatására

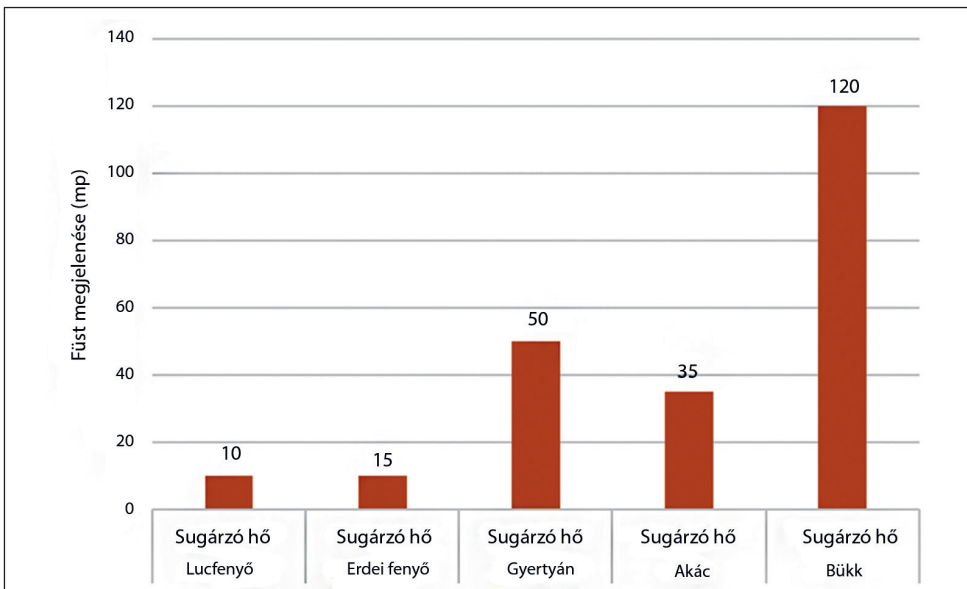
Forrás: a szerzők szerkesztése

A fentiekén kívül vizsgáltuk a sugárzó hő hatására végbemenő füst kibocsátást is. A kezeletlen és kezelt minták füstképződését mutatják a 4. és 5. ábrák diagramjai.



4. ábra: Füst megjelenése a kezeletlen mintáknál sugárzó hő hatására

Forrás: a szerzők szerkesztése



5. ábra: Füst megjelenése a kezelt mintáknál sugárzó hő hatására

Forrás: a szerzők szerkesztése

Külön érdekesség a füstképződés megjelenése sugárzó hőnek való kitettség esetében. Az ábrákból kitűnik, hogy az egyes fafajok füst kibocsátásainak esetén is eltérések mutatkoznak sugárzó hőnek való kitettség során. Az ábrákból kitűnik, hogy az égéskésleltető szer a fafajok egy részénél (lucfenyő, akác) lerövidítette a füst megjelenési idejét, míg más fafajoknál (erdei fenyő, gyertyán) meghosszabbította azt.

Összegzés

Tűz esetén nemcsak közvetlen láng hatás érheti a fát, hanem sugárzó hő is. A sugárzó hő hatás minden esetben megelőzi a lángterjedést. A nemzetközi szakirodalom eredményeire támaszkodva elmondható, hogy a jövőben a fa és fa alapanyagú építési termékek égéskésleltetési lehetőségének vizsgálatakor a szabványos Lindner-módszer mellett a sugárzó hő hatásának vizsgálata is egyre nagyobb teret nyerhet. Ugyanis a sugárzó hő bár nem látjuk szabad szemmel, a hatására létrejövő pirolízis visszafordíthatatlan folyamatokat indíthat el adott építmény anyagaiban. Ezért tűzvédelmi jelentőségét javasolt figyelembe venni.

Sugárzó hőnek kitett minták esetén is egyértelműen megmutatkozott az égéskésleltető szerek hatékonysága és különbözősége. Ez elsődlegesen a tömegvesztésbeli különbségben jelentkezett. Ugyanis a tömegvesztés a kezelt mintaanyagok esetében kisebb mértékűnek adódott.

Kiemelendő volt a gyertyán viselkedése, amely minden vizsgált szempontból lényegesen eltért a többi mintától. A vizsgálati eredmények alapján megállapítható, hogy legellenállóbbnak tekinthető mind az átégés, mind a füstképződés, mind a repedések keletkezésének bekövetkezésével szemben idő szempontjából. Mechanikai szilárdságát még 300 °C körül is megtartotta.

Vizsgálataink arra hívják fel a figyelmet, hogy az égéskésleltető szerrel kezelt különböző faanyagú és fa alapanyagú építési termékek már sugárzó hő hatására olyan fizikai, kémiai változásokat szenvedhetnek el, amelyek még a közvetlen láng hatásnak való kitettség előtt kedvezőtlenül befolyásolhatják az építmény szerkezeti és tűzbiztonságát.

Felhasznált irodalom

- BEDA László – MOHAI Ágota (2012): *Papírtekercek éghetőségének vizsgálata, az eredmények hatása a papírtekercek raktárak tűzvédelmére*. Budapest: Avernim.
- BODNÁR László – TEKNŐS László (2023): A globális éghajlatváltozás hatásai az erdőtüzekre. *Védelem Tudomány: Katasztrófavédelmi online tudományos folyóirat*, 8(különszám), 177–184. Online: <https://ojs.mtak.hu/index.php/vedelemtudomany/article/view/13888>
- CHEIM, Luiz et al. (2012): Furan Analysis for Liquid Power Transformers. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 28(2), 8–21. Online: <https://doi.org/10.1109/MEI.2012.6159177>
- DI HA LE, Truong (2019): Experimental Assessment of the Fire Resistance Mechanisms of Timber-Steel Composites. *Materials*, 12(23), 4003. Online: <https://doi.org/10.3390/ma12234003>
- GYÖRI, Melinda et al. (2021): Combustible Parameters of Native Timber Modified by Blokk Wood Method. *Védelem Tudomány: Katasztrófavédelmi online tudományos folyóirat*, 6(3), 107–124. Online: <https://ojs.mtak.hu/index.php/vedelemtudomany/article/download/13728/11154/>

- HAJDU, Flóra et al. (2022): Examination of Vegetation Fire Spread with Numerical Modelling and Simulation Using Fire Dynamic Simulator. *Academic and Applied Research in Military and Public Management Science*, 21(3), 85–100. Online: <https://doi.org/10.32565/aarms.2022.3.5>
- HAJDU, Flóra – KÖRNYEI, László – KUTI, Rajmund (2023): One-At-A-Time Sensitivity Study of a Tree Burning Simulation. *Pollack Periodica: An International Journal for Engineering and Information Science*, 19(1), 1–7. Online: <https://doi.org/10.1556/606.2023.00850>
- Ji, Jingwei et al. (2006): An Integral Model for Wood Auto-Ignition Under Variable Heat Flux. *Journal of Fire Sciences*, 24(5), 413–425. Online: <https://doi.org/10.1177/0734904106062138>
- KEREKES, Zsuzsanna – LUBLÓY, Éva – KOPECSKÓ, Katalin (2018): Behaviour of Tyres in Fire: Determination of Burning Characteristics of Tyres. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 133, 279–287. Online: <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7001-9>
- LIU, Hao et al. (2023): Experimental and Theoretical Study on Ignition and Combustion Characteristics of Aging Woods by Cone Calorimetry. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 148, 10573–10582. Online: <https://doi.org/10.1007/s10973-023-12311-0>
- LUBLÓY, Éva et al. (2023): Examination of the Fire Performance of Wood Materials Treated With Different Precautions. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 148, 4129–4140. Online: <https://doi.org/10.1007/s10973-023-12050-2>
- MENSAH, Rhoda Afriyie et al. (2023): Characterisation of the Fire Behaviour of Wood: From Pyrolysis to Fire Retardant Mechanisms. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, (148), 1407–1422. Online: <https://doi.org/10.1007/s10973-022-11442-0>
- MSZ 9607:2020 (2020): *Égéskésleltető szerrel kezelt, fa és fa alapanyagú építési termékek vizsgálata. A kezelés hatékonyságának értékelése Lindner-módszer alapján.* Budapest: Magyar Szabványügyi Testület.
- PLUZSIK András – SZITNYAINÉ SIKLÓSI Magdolna – VARGYAY Kornélia (1993): *A faanyagvédelem módszerei és anyagai.* Budapest: Facta.
- VOTHI, Hai et al. (2019): Novel Nitrogen-Phosphorus Flame Retardant Based on Phosphonamidate: Thermal Stability and Flame Retardancy. *ACS Omega*, 4(18), 17791–17797. Online: <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b02371>
- WANG, Jiawei et al. (2021a): Effect of Delignification on Thermal Degradation Reactivities of Hemicellulose and Cellulose in Wood Cell Walls. *Journal of Wood Science*, 67(19), 1–11. Online: <https://doi.org/10.1186/s10086-021-01952-0>
- WANG, Jiawei et al (2021b): Thermal Degradation of Hemicellulose and Cellulose in Ball-Milled Cedar and Beech Wood. *Journal of Wood Science*, 67(32), 1–14. Online: <https://doi.org/10.1186/s10086-021-01962-y>
- ZHENG, Chao – LI, Dongfang – EK, Monica (2019): Mechanism and Kinetics of Thermal Degradation of Insulating Materials Developed from Cellulose Fiber and Fire Retardants. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 135, 3015–3027. Online: <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7564-5>
- ZHU, F. L. – LI, X. – FENG, Q. Q. (2021): Thermal Decomposed Behavior and Kinetic Study for Untreated and Flame Retardant Treated Regenerated Cellulose Fibers Using Thermogravimetric Analysis. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 145, 423–435. Online: <https://doi.org/10.1007/s10973-020-09780-y>

Kátai-Urbán Maxim,¹ Sárosi György,² Vass Gyula³

Veszélyesanyag-raktározás biztonságszervezése – külföldi jó gyakorlat alapján

Safety Organisation of Dangerous Substance Storage – based on Foreign Good Practice

A veszélyes anyagok tárolásával járó környezeti kockázatok kezelése számos országban szigorú jogi szabályozás hatálya alá esik. A jogi szabályozást a veszélyes anyagokkal foglalkozó logisztikai raktárak üzemeltetői a széles körben elterjedt nemzetközileg elfogadott módszertani irányelvek és útmutatók alapján alkalmazzák. Jelen cikkben a szerzők célja elemezni és értékelni a veszélyesanyag-tárolás külföldi jó gyakorlaton alapuló szabályozását, amelynek hazai alkalmazása javasolt a logisztikai raktárakban esetlegesen bekövetkező veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek megelőzése céljából.

Kulcsszavak: ipari balesetek; veszélyes anyag; katasztrófavédelem, környezetszennyezés, logisztikai raktár

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 policy and guidelines. In this article, the author aims to analyse and evaluate

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

² Külső óraadó, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Rendészettudományi Kar Katasztrófavédelmi Intézet, e-mail: sarosi.gyorgy@hvesz.hu

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

the regulation of hazardous substance storage based on foreign good practice, the domestic application of which is recommended in order to prevent major accidents involving dangerous substances at the territory of chemical warehouses.

Keywords: industrial accidents; dangerous substance; disaster management, environment pollutions, warehouse

Bevezetés

A természeti és a mesterséges katasztrófák, valamint a súlyos balesetek szinte mindennapos gyakorlattá váltak világszerte.⁴ Például az 1986-ban Bázelen (Svájc) történt növényvédőszeraktár-tűz jelentős, a határokon átnyúló vízszennyezést okozott Németországban, Franciaországban és Hollandiában.⁵ A veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek környezeti hatásaival foglalkozó nemzetközi adatbázisok közül kiemelhető az Európai Bizottság által létrehozott súlyos balesetek jelentési rendszere, ahol a benyújtott súlyos baleseti jelentések többsége, kisebb-nagyobb környezetterhelést állapított meg a súlyos balesetek következményei között.⁶

A veszélyes anyagokat előállító, feldolgozó vagy raktározó ipari és logisztikai létesítmények, valamint a veszélyes hulladékot feldolgozó üzemek jelentős baleseti hatást képesek kifejteni a környező lakosságra és a környezetre. Földi László és Halász László véleménye szerint „a külföldi veszélyes anyagokkal, technológiákkal foglalkozó üzemek tevékenysége potenciális környezeti veszélyforrásként értékelhető.”⁷

A veszélyes anyagok és veszélyes áru legjellemzőbb előfordulási helye a veszélyes anyagot gyártó, tároló, feldolgozó veszélyes üzemek és a veszélyesáru-szállítási tevékenységek. A veszélyesáru-szállítás logisztikai létesítményei fő szabályként nem tartoznak a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos baleseti szabályozás hatálya alá. A közúti veszélyesáru-szállítás üzemi létesítményei között azokat a veszélyesanyag-raktárbázisokat tartjuk számon, amelyekben a nemzetközileg egységesített csomagolással ellátott veszélyes árukat tárolják.⁸

A veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek, mint más katasztrófajelenségek, gyakran súlyos következményekkel járnak a környező épített környezetre és más környezeti elemekre, például a felszíni és felszín alatti vizekre és a talajra. Súlyos baleset esetén a gyúlékony anyagok kibocsátásából eredő robbanás vagy a nagyszabású tűz katasztrófális balesetek forogatókönyvei lehetnek.⁹

A súlyos balesetek elleni védekezés nagyszámú, a védekezésben részt vevő szervezet együttműködését igényli, hiszen „ez folyamatos és időszerű információcserét, valamint a feladatokat időbeni és térbeli szinkronizálását igényli, hogy elkerülhető legyen az együttműködő

⁴ UNDRR 2017.

⁵ VINCE 2008: 46.

⁶ NIVOLIANITOU–KONSTANDINIDOU–CHRISTOU 2006.

⁷ HALÁSZ–FÖLDI 2014.

⁸ KÁTAI–URBÁN et al. 2023.

⁹ ÉRCES–VASS 2018.

szervezetek párhuzamos (és ezáltal felesleges) munkája.”¹⁰ A jelentős környezeti károk kialakulása megelőzhető az érintett létesítmények üzemeltetőinek műszaki, tervezési, szervezési és irányítási intézkedéseinek bevezetésével.¹¹ A veszélyes anyagokkal foglalkozó létesítmények üzemeltetőinek – a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek környezeti hatásaitól való védekezés érdekében – számos biztonsági követelménynek kell megfelelniük.¹² Természetesen az üzemeltetők és a hatóságok, valamint az önkormányzatok közötti együttműködés is szükséges az esetlegesen bekövetkező események eredményes felszámolásához.¹³

Jelen cikkben a szerzők a veszélyesanyag-raktározási tevékenységeket érintő – nemzetközi (német) jó gyakorlat szerinti példákra alapuló – szabályozásának áttekintő bemutatásával, valamint annak hazai bevezetésével kapcsolatos vizsgálatával foglalkoznak.

A veszélyesanyag-tárolással foglalkozó német jogi szabályzás főbb előírásainak áttekintése

A német veszélyesanyag-tárolási szabályozás a veszélyes anyagok nemzetközi és európai uniós osztályozási rendszerére épül. Az úgynevezett Globálisan Harmonizált Rendszert (Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals, GHS) az ENSZ égisze alatt hozták létre 2002-ben. A veszélyes anyagok osztályozása a GHS alapján az Európai Unió tagállamaiban az úgynevezett CLP (Classification, Labelling and Packaging – Osztályozás, Címkézés és Csomagolás) európai uniós szabályzás¹⁴ osztályozási rendszerére épül. Az EU Európai Vegyianyag-ügynöksége (European Chemical Agency) kezeli.¹⁵

A veszélyes anyagok nem helyhez kötött tárolókban való tárolásáról szóló rendelet (német megnevezéssel: Gefahrstoffverordnung)¹⁶ a definíciók között a 2. § (6) bekezdésben határozza meg a tárolás fogalmát, amely szerint „A tárolás a későbbi használatra való megőrzés és másoknak történő szállítás. Ez magában foglalja a szállításra történő készletezését, ha a szállítást az érintett tárgyak rendelkezésre bocsátását követő 24 órán belül, vagy a következő munkanapon nem bonyolítják le.” A rendelet 11. cikkében szabályozza a tűz- és robbanásveszély kockázatával kapcsolatos üzemeltetői teendőket. Az üzemeltetőnek intézkedéseket kell hoznia a veszélyes anyagokkal végzett tevékenységek során a robbanás- és tűzveszély elkerülése vagy az ilyen kockázatok minimálisra csökkentése érdekében. Ez elsősorban a fokozottan tűz- és robbanásveszélyes, a mérsékelten tűz- és robbanásveszélyes, nem tűzveszélyes és az oxidáló anyagokkal vagy készítményekkel végzett tevékenységekre vonatkozik, beleértve azok tárolását is. Ez vonatkozik továbbá az egyéb veszélyes anyagokkal, különösen a robbanásveszélyes

¹⁰ BEREK–FÖLDI–PADÁNYI 2020.

¹¹ CIMER–SZAKÁL 2015.

¹² NAGY 2023.

¹³ TEKNŐS–LAKATOS–VASS 2023.

¹⁴ Az Európai Parlament és a Tanács 1272/2008/EK rendelete 2008.

¹⁵ ECHA 2024.

¹⁶ *Hazardous Substances Ordinance* 2021.

anyagokkal és az egymással kémiai reakcióba lépő vagy kémiailag instabil veszélyes anyagokkal végzett tevékenységekre, ahol tűz- és robbanásveszély merülhet fel.

A tűz- és robbanásveszély elkerülése érdekében az üzemeltető a következő fontossági sorrendben intézkedik:

- Kerülni kell a veszélyes anyagok olyan veszélyes mennyiségeit vagy koncentrációit, amelyek tűz- vagy robbanásveszélyt okozhatnak.
- Kerülni kell azokat a gyújtóforrásokat, amelyek tüzet vagy robbanást okozhatnak.
- A tüzeknek vagy robbanásoknak a munkavállalók és más személyek egészségére és biztonságára gyakorolt káros hatásait csökkenteni kell.

A rendelet egyedileg foglalkozik továbbá a szerves peroxidokkal kapcsolatos tevékenységekkel, amely tekintetében a munkáltatónak minimálisra kell csökkenteni a nem szándékos robbanás kockázatát és korlátozni a tüzek és robbanások hatását. A szabályozás 1. melléklet 1. fejezete foglalkozik a robbanás és a tűz kockázatával. Az általános rendelkezések között a rendelet előírja robbanásveszélyes keverékek képződésének és gyulladásának megakadályozását, a robbanás káros hatásainak csökkentésére szolgáló intézkedések bevezetését. A melléklet 1.3. pontja rendelkezik a tűz- és robbanásveszély elleni védelem előírásairól, amelyek lényege a következő:

- A veszélyes anyagok mennyiségét a szükséges mértékre kell korlátozni, különös tekintettel a tűzterhelésre és a tűz terjedésére.
- Megfelelő intézkedéseket kell tenni a veszélyes anyagok nem szándékos kibocsátása ellen, amelyek tűz- vagy robbanásveszélyhez vezethetnek, amelynek érdekében külön figyelemmel kell lenni többek között a túlnyomásra, a túltöltésre és a korrózióra. A veszélyes anyagok kibocsátási helytől történő áramlását meg kell akadályozni.
- Össze kell gyűjteni és biztonságosan tárolni kell a kiszabaduló veszélyes anyagokat, amelyek tűz- vagy robbanásveszélyhez vezethetnek.
- Ha nem lehet biztonságosan megakadályozni a robbanásveszélyes keverékek kialakulását, a gyulladás megelőzésére óvintézkedéseket kell bevezetni, beleértve az elektrosztatikus feltöltődés elleni védelmet.
- A vizsgált melléklet 1.5 pontja tartalmazza a tárolási előírásokat, amelyeket az alábbiakban lehet összefoglalni:
- A veszélyes anyagokat csak megfelelő helyen szabad tárolni. Nem tárolhatók olyan helyen, ahol ez veszélyt jelenthet a munkavállalókra vagy más személyekre.
- A munkahelyiségben veszélyes anyagokat csak akkor lehet tárolni, ha a tárolás a munkavállalók védelmével összeegyeztethető, és speciális, korszerű védelmi eszközöket alkalmaznak.
- A veszélyes anyagokat nem szabad együtt tárolni, ha ez fokozott robbanás- és tűzveszélyt okozó veszélyes keverékek képződését eredményezheti. Nem szabad továbbá veszélyes anyagokat együtt tárolni, ha ez tűz vagy robbanás esetén további kockázatot jelenthet a munkavállalókra vagy más személyekre nézve.

A fenti rendelkezésből látható, hogy azok – a közös európai uniós szabályozás következtében – hasonlóak a munkavédelmi szabályozás veszélyesanyag-tárolási egyedi követelményeihez.

A Veszélyesanyag-tárolási Műszaki Irányelv szabályainak értékelése

Az európai uniós térségben mértékadó veszélyes anyagokkal foglalkozó illetékes hatóságai szervezetnek tekinthető Német Szövetségi Köztársaság Veszélyes Anyag Bizottsága új műszaki ajánlásokat dolgozott ki a veszélyes anyagok tárolására.¹⁷ A dokumentum megnevezése: TRGS 510 *Veszélyes anyagok tárolása nem helyhez kötött tárolókban* (Veszélyesanyag-tárolási Műszaki Irányelvek), amely a *Veszélyes Anyagok Műszaki Irányelvei* (*Technical Rules for Hazardous Substances*, TRGS) című műszaki irányelveket tartalmazó sorozatban jelent meg. Az Irányelv a német veszélyesanyag-rendelet végrehajtását szolgálja. Az Irányelv nem minősül jogi szabályozásnak, azonban alkalmazását előírja a veszélyesanyag-rendelet.

A fentiekben már vizsgált német veszélyesáru-tárolási jogszabály 1. mellékletének *Robbanás és tűz kockázata* című 1. részében foglalkozik többek között a robbanásveszélyes vegyületek kialakulásának megelőzésével, a tűz és robbanás elleni védelemmel, a tárolási szabályokkal. Az útmutató tartalmazza a veszélyes anyagokkal kapcsolatos kockázatelemzési, munkaegészségügyi és tűzvédelmi szabályokat. A veszélyes anyagok együtt tárolási szabályain túl tárolási szabályokat ír elő az akut mérgező hatású folyadékok és szilárd anyagok tárolására, az oxidáló folyadékok és szilárd anyagok tárolására. Ezen túl szabályozza a nyomás alatt lévő gázok tárolására, az aeroszolos adagolók és túlnyomásos gázpatronok tárolására, valamint a gyúlékony folyadékok tárolására vonatkozó tevékenységeket. Az irányelvek mellékleteiben található bővebb információ a kockázatelemzésről, illetve az egyedi tűz és robbanás elleni védekezés előírásairól.

Az Irányelv a raktárépületek létesítésére és bontására, a raktárterületen történő szállítási tevékenységre, valamint a kibocsátott veszélyes anyagok eltávolítására vonatkozik. A veszélyesanyag-szállítmányok 24 órán túli ideiglenes tárolásával és raktározásával foglalkozik. Az irányelv tárgyi hatályát egy táblázat határozza meg veszélyesanyag-osztályonként és CLP-veszély-kategóriánként.

Az irányelv 1000 kg-os mennyiségi küszöbértéket ír elő általános szabályként valamennyi veszélyesanyag-kategóriára, amelytől eltérő mennyiségeket az alábbi táblázatban rögzített veszélyesanyag-csoportok esetében kell használni.

1. táblázat: A veszélyesanyag-baleset felderítésének alapinformációi üzemi példa alapján

Küszöbmennyiség	Veszélyesanyag-osztályok
1000 kg	Tűzveszélyes folyadékok – H226 kategóriában
300 kg	Rendkívül és fokozottan tűzveszélyes folyadékok – H224, H225 jelzésekkel; vagy maró szilárd anyagok – H317, H318 jelzésekkel
200 kg	Akut toxikus anyagok – H300, H301, H310 vagy H330; karcinogén, csírasejtekre mutagén hatású – H340, H350; gyúlékony gázok – H220, H221; oxidáló gázok – H270; oxidáló folyadékok és szilárd anyagok – H271, H272; maró folyadékok – H317, H318; nyomás alatti gázok – H220, H221, H270, H280, H281; aeroszolos és gázpatronok – H220, H221, H222, H223; ökotoxikus folyadékok – H400, H410.
100 kg	Szerves peroxidok esetében

Forrás: TRGS 510 alapján KÁTAI-URBÁN szerkesztése

¹⁷ TRGS 510 2013.

Az Irányelv hatálya nem vonatkozik a telepített tartályokra, a telephelyen munkavégzésre használt gépekben, berendezésekben lévő anyagokra, a gyártási folyamatban vagy a napi munkavégzés során jelen lévő anyagokra, beleértve a karbantartási munkákat is, az ömlesztve tárolt anyagokra, a robbanó anyagokra és a radioaktív anyagokra.

A veszélyes anyaggal és áruval foglalkozó raktár fogalmán túl megtalálhatjuk a veszélyesáru-szállítási csomagolások fogalmát is. Az Irányelv foglalkozik a kibocsátott veszélyesanyag-elvezetési felületek fogalmával. Fontos fogalommeghatározás a tűzszakasz fogalma. A fentiekén túl az Irányelv – jelen dolgozat szempontjából különös jelentőségű – az oltóvizet felfogó terek fogalmát is megadja, amely szerint „Az oltóvíz felfogó terek olyan műtárgyak, amelyek a tűz esetén keletkező szennyezett oltóvizet összegyűjtik, amíg az ártalmatlanításra nem kerül.”

Az Irányelv kockázatelemzési fejezete meghatározza a veszélyes anyagokkal kapcsolatos munkaegészségügyi kockázatelemzési előírásokat. A veszélyes anyagok tárolási veszélyei lehetnek a következők: a tárolt veszélyes anyagok tulajdonságai és/vagy halmazállapota; a tárolt veszélyes anyagok mennyisége; a tárolás típusa; a tárolási folyamat során végzett tevékenységek; veszélyes anyagok együttes tárolása; munka- és környezeti feltételek, mint például a raktár típusa, a helyiség mérete, az éghajlati viszonyok, a külső hatások és a tárolási időtartam. A munkaegészségügyi védelmi intézkedések fejezetben megtalálhatjuk az üzemeltetői minimumintézkedések felsorolását, amelyek a következők: a raktár és a tároló létesítmények tervezése; munkafolyamatok szervezése; a veszélyes anyagok tárolásával kapcsolatos tevékenységekhez megfelelő eszközök biztosítása; az expozíció időtartamának és intenzitásának korlátozása; higiéniai intézkedések, a veszélyes anyagok nem szándékos kibocsátásának megelőzése; a veszélyek megelőzésére szolgáló erőforrások biztosítása.

Az üzemi területen tárolt veszélyes anyagok mennyiségét az adott napra/műszakra szükséges mennyiségre kell korlátozni; az ezeket meghaladó mennyiségeket kell tárolni a raktárakban. Kis mennyiségek rendszeres felhasználása esetén a kereskedelemben kapható legkisebb kiszerezést szükséges felhasználni. A veszélyes anyagokat csak zárt csomagolásban vagy tárolóedényben szabad tárolni. A veszélyes anyagokat lehetőség szerint eredeti tartályokban vagy eredeti csomagolásban kell tárolni. Ha a veszélyes anyagokat nem eredeti edényzetben tárolják, gondoskodni kell a tárolóedények megfelelőségéről és jelöléséről. A tárolt veszélyes anyagokról nyilvántartást kell vezetni.

Az általános védelmi intézkedések többek között a következők:

- A csomagolásnak és a tárolóedényeknek alkalmasnak kell lenniük arra, hogy a tartalom ne kerüljön ki a környezetbe. Ezeket a követelményeket teljesítettnek kell tekinteni, ha a csomagolás megfelel a veszélyes áruk szállítására vonatkozó követelményeknek.
- A veszélyes anyagokat és keverékeket/készítményeket olyan jelöléssel kell ellátni, amely elegendő információt tartalmaz az osztályozásról, és amely mutatja a kezelés és a meg-hozandó óvintézkedések során fennálló veszélyeket, vagy lehetővé teszi ezek levezetését.
- A tűzveszélyes anyagokat tartalmazó tárolóedények közvetlen közelében nem lehet gyújtóforrás.

További intézkedéseket határoz meg az irányelv a veszélyes anyaggal és áruval foglalkozó raktárbázisokra. Veszélyesanyag-csoportonként meghatározza azokat a tűzszakaszonkénti küszöbértékeket, amelyeknél nagyobb mennyiségű veszélyes anyagot veszélyes anyaggal és áruval foglalkozó raktárbázisokban kell tartani.

A raktárszervezési előírások között a következő fontosabb rendelkezések találhatók:

- A veszélyes anyagokat úgy kell tárolni, hogy a kibocsátott anyagok azonosíthatók, összegyűjthetők és eltávolíthatók legyenek. A szükséges védekezési intézkedéseket az anyag tulajdonságai és a tárolt mennyiségek alapján kell meghatározni.
- A tárolóedényeket és a csomagolást rendszeres időközönként ellenőrizni kell, hogy nem sérültek-e; a felülvizsgálati időközöket az anyag tulajdonságai, a csomagolás típusa és a konkrét tárolási feltételek (például épületekben, tárolási technológia) alapján kell meghatározni.
- A raktárterületenkénti maximális tárolási mennyiséget, valamint a konténerek felülvizsgálati időközét az üzemeltető határozza meg.

A raktározási szabályokat az Irányelv külön részben rögzíti. Ugyancsak külön foglalkozik az Irányelv a munkavállalók felkészítésével, a riasztás szabályaival, az egyéni védőeszközök alkalmazásával, az ellenőrzési szabályokkal. Külön fejezet szól a különösen veszélyes anyagok tárolásával kapcsolatos szabályokról, amelyek tárgyi hatályát a rendelet részletesen veszélyesanyag-osztályonként (mint például a mérgező anyagok, oxidáló anyagok, tűzveszélyes gázok és folyadékok H mondatonként pontosítva) határozza meg.

Az építmény létesítési és biztonsági szabályain túl az Irányelv külön szabályokat ad meg a balesetek és üzemzavarok kezelésére, mint a tüzesetek és veszélyes anyagok kibocsátására. A fenti veszélyes anyagot tároló raktáraknál tűzoltási és műszaki mentési tervet kell készíteni a tüzek, balesetek, üzemzavarok, anyagkibocsátások kezelésére. Tűzoltási és műszaki mentési tervet együttműködésben a helyi tűzoltósággal szükséges kidolgozni. A terv többek között magában foglalja a csomagolás sérülésekor teendőket, a kibocsátott veszélyes anyag kezelésének rendjét, az igénybe vett kárelhárítási erőt és eszközt, illetve a környezeti károk esetén megteendő intézkedéseket.

Az üzemeltető köteles gondoskodni – a raktárban tárolt veszélyes anyagok kiszabadulása, illetve tűz vagy egyéb veszélyhelyzet esetén – a munkavállalók biztonságáról, rendszeres és megfelelő időközönként gyakorlatok lefolytatásáról. A vészhelyzeti gyakorlatokat és a gyakorlatok időközzeit a veszélyértékelésben kell meghatározni.

Egyedi tűzvédelmi szabályok vonatkoznak külön listában rögzített veszélyesanyag-csoportokra:

1. Tűzveszélyes folyadékok (H224, H225 vagy H2261 jelzéssel) és/vagy tűzveszélyes tulajdonságok (R12, R11 vagy R10 jelzéssel).
2. Tűzveszélyes gázok (H220 vagy H221 és/vagy R12 jelzéssel).
3. Tűzveszélyes aeroszolok (H222 vagy H223 jelzéssel).
4. Tűzveszélyes szilárd anyagok (H228 jelzéssel).
5. Piroforos folyadékok és szilárd anyagok (H250 és/vagy R17 jelzéssel).
6. Önmelegedő anyagok és keverékek (H251 vagy H252 jelzéssel).

7. Önreaktív anyagok és keverékek (H242 jelzéssel).
8. Anyagok és keverékek, amelyek vízzel érintkezve gyúlékony gázokat bocsátanak ki (H260 vagy H261 és/vagy R15 jelzéssel).
9. Egyéb veszélyes anyagok és/vagy anyagok, amelyekről kimutatták, hogy tűzveszélyesek.

A fenti esetekben a raktár típusától és méretétől függően a tűzvédelmi hatósággal egyetértésben kell meghatározni a tűzoltási megközelítési és felvonulási utakat, illetve a hő- és füst-elvezetőket. A raktárakat megfelelő tűzvédelmi rendszerrel kell felszerelni.

A tüzek vízzel oltásához elegendő mennyiségű oltóvíznek kell rendelkezésre állnia. A szükséges oltóvíz mennyiségét a tűzvédelmi dokumentáció készítéséért felelős személy határozza meg, figyelembe véve a tűzszakaszok területét, valamint a tűzterhelés nagyságát.

A raktárakban és tárolóhelyiséggel rendelkező épületekben a 7,5 m-t meghaladó tárolt anyagokra automatikus oltórendszert kell beépíteni. Ahol a raktárak automatikus oltórendszerrel vannak felszerelve, mint például a sprinkler vagy a vízködrendszer, ott biztosítani kell, hogy a tárolt anyagokat az oltóanyag közvetlenül elérhesse. Az oltóvízcöveket, szórófejeket vagy füstérzékelőket úgy kell rögzíteni, hogy azok ne sérüljenek meg az anyagok raktárba történő mozgásakor.

Az oltóvízfelfogó terek és berendezések telepítésével, megtervezésével és méretezésével külön útmutató¹⁸ foglalkozik.

Ügyelni kell továbbá az oltóvízfelfogó terek és berendezések robbanásvédelmére. Kerülni kell azokat a gyújtóforrásokat, amelyek tüzet okozhatnak. A veszélyt okozó tevékenységek, mint például a hegesztés esetén a munkavégzést engedélyeztetni szükséges.

Veszélyes anyagokat csak akkor szabad együttesen tárolni, ha ez nem növeli a kockázatot. Az együttes tárolási szabályok betartásához az Irányelv egy táblázatot ad meg. A táblázat tárolási osztályonként jelzi, hogy megengedett-e a közös tárolás a többi tárolási osztállyal, vagy legalább 90 perces tűzállóságot kell biztosítani a raktárhelyiségek között; vagy be kell-e tartani az együtt tárolás tilalmát.

Kiegészítő vagy speciális védelmi intézkedéseket kell bevezetni az Irányelv hatálya alá tartozó tűzszakaszonkénti mennyiségeknél nagyobb volumenű speciális veszélyes anyagok tárolása esetén. Külön fejezetek szólnak az egyedi veszélyes anyagok tárolásával kapcsolatos szabályok meghatározásáról, amelyek kiterjednek a szabályok alkalmazásának hatályára, a létesítési és tűzvédelmi szabályokra, a szervezési követelményekre, speciális védelmi intézkedésekre. Ilyen anyagcsoportok lehetnek: az akut toxicitású folyadékok és szilárd anyagok, oxidáló folyadékok és szilárd anyagok, nyomás alatt lévő gázok, aeroszol termékek, tűzveszélyes anyagok.

A VCI Veszélyesanyag-tárolási Útmutató szabályainak vizsgálata

A rendelet és a Veszélyesanyag-tárolási Műszaki Irányelvek alapján a Német Vegyipari Szövetség (Verband der Chemischen Industrie, VCI) és további veszélyes anyagokkal foglalkozó

¹⁸ VdS 2557 2013.

ipari érdekvédelmi szövetségek saját tagvállalataik részére 2013. évben kiadták a *Veszélyes Anyagok Tárolása (Storage of Hazardous Substances)* című útmutatójukat (VCI-útmutató).¹⁹ Az Európai Vegyipari Szövetség CEFIC (Conseil Européen des Federations de l'Industrie Chimique) már az 1990-es évek elején javasolta az útmutató használatát, amelynek előírásait a hazai vegyipari üzemek többségében jelenleg is figyelembe veszik.

A VCI előírásainak alkalmazását többek között javasolja az ENSZ EGB Útmutató is, amely – az oltóvízszennyezés szempontjából – a veszélyes áruk tárolására szolgáló raktárak létesítésének és használatának alapvető tervezési szabályait rögzíti.

Az útmutató foglalkozik többek között a raktárak üzemeltetőinek felelősségével, a kockázatelemzéssel, a csomagolási szabályokkal, a csomagolási és tárolási létesítményekkel, a munkavédelmi és munkaegészségügyi szabályokkal, a raktárkialakítás műszaki előírásaival. Ezen túl foglalkozik a raktározási eljárásokkal, a veszélyhelyzet-kezelési szervezetekkel, a tűzvédelmi berendezésekkel, a veszélyes anyag kibocsátásával járó helyzetek kezelésével és az egyes veszélyesanyag-osztályok kezelésének különös szabályaival, illetve a raktárellenőrzési kérdéssorral. Az útmutató meghatározza a veszélyesanyag-tároló létesítmény üzemeltetőjének felelősségi körét: a tároló tervezett üzemeltetése; a termékek megfelelő címkézése és biztonságos kezelése; megfelelő tárolás; megfelelő biztonsági berendezések beépítése; a kockázatok felmérése és a védőintézkedések előírása; munkaegészségügyi, munkavédelmi és környezetvédelmi intézkedések bevezetése; szakképzett munkatársak kiválasztása; az alkalmazottak képzése és felkészítése; tevékenységek és munkafolyamatok koordinálása; külső személyzet tevékenységi szabályozása; vészhelyzeti intézkedések tervezése.

A Veszélyesanyag-tárolási Útmutató célja, hogy segítse a raktárüzemeltetőket a veszélyes anyagok biztonságos tárolásában. Az Útmutató TRGS 510 Veszélyesanyag-tárolási Műszaki Irányelveken alapul, amely a veszélyes anyagok tárolásáról szóló német rendelet követelményeihez fűz műszaki jogszabályi értékelést. Az Útmutató alkalmazási területe a TRGS 510 Irányelveknek felel meg. A veszélyes anyagok és keverékek csomagolásban történő tárolásához ad meg jó üzemeltetői gyakorlatot.

Az Útmutató felépítése a Veszélyesanyag-tárolási Műszaki Irányelvekhez kapcsolódik. Alkalmazási köre (hatálya) szintén ugyanaz. A kockázatelemzés fejezetben a veszélyes anyagok és keverékek munkaegészségügyi kockázatelemzését mutatja be az Útmutató, amelyhez fő információt a biztonsági adatlapok adnak. Az Útmutató foglalkozik a termékek csomagolási és tárolási lehetőségeivel.

Az Útmutató kitér a veszélyes anyag kibocsátásával kapcsolatos események kezelésére. A veszélyes anyag termékből történő szivárgásának oka lehet a csomagolás sérülésével járó mechanikai vagy kémiai behatás vagy például a csomagolás helytelen lezárása. A veszélyes anyagokat úgy kell tárolni, hogy az esetleges szivárgások észlelhetők és felfoghatók legyenek.

¹⁹ BG RCI 2013.



1. kép: Gyűjtőtálcával kialakított állványos tároló

Forrás: DRV 2018

A szivárgást azonnal meg kell szüntetni az expozíció időtartamának és mértékének korlátozása érdekében. A munkavállalóknak veszély esetén azonnal el kell hagyniuk a veszélyeztetett területet. Személyi védőfelszerelést kell viselni, és az adott anyag tulajdonságainak és a szivárgás mennyiségének megfelelően a biztonsági adatlapon előírt védőintézkedéseket kell tenni. A kiszivárgott veszélyes anyagok eltávolítására a raktárban rendelkezésre kell álljon: üres hordó, megfelelő nedvszívó anyag (abszorbensek vagy felitató anyagok), semlegesítő szerek és mosószerek, seprők és lapátok, ipari porszívók, folyadékszivattyúk.

Az oltóvízszennyezés-megelőzési útmutató vizsgálata

A 2013. évben a Német Biztosítók Szövetsége által kiadott VdS 2557. számú az „oltóvíz fel-fogó terek tervezéséről és kivitelezéséről szóló útmutató”, az oltóvíz okozta károk elkerülését célzó intézkedések szükségességére hívja fel a figyelmet. Az intézkedések formája és mértéke az útmutatóban lévő részletes veszély- és kockázatelemzésre alapozva kapható meg. Az oltó-vízmennyiségi számítások alkalmazásához mintapéldákat ad az útmutató, továbbá internetes alkalmazás szolgál segítségül a tervező szakembereknek.

Mindazonáltal a tervezés véleményem szerint megfelelő mérnöki és műszaki szakértelem és képzettség nélkül viszonylag nehézkes lehet.²⁰

Az útmutató tartalmazza többek között a tűz során keletkezett oltóvíz mennyiségének szá-mítását; a szennyezett oltóvíz által okozott károk elkerülése és kezelése céljából alkalmazandó

²⁰ KÁTAI-URBÁN – HOFFMANN – BÍRÓ 2019.

szervezési intézkedéseket; az oltóvíz felfogásához szükséges műszaki intézkedéseket, így az oltóvíz felfogására szolgáló létesítmények építésére, telepítésére, valamint felülvizsgálatára, karbantartására és üzemeltetésére vonatkozó követelményeket; a káreseménynél szükséges teendőket; a szennyezett oltóvíz ártalmatlanítására vonatkozó előírásokat. Számításba kell venni, hogy a tűzoltóság beavatkozása nagy mennyiségű szennyezett oltóvizet képezhet. Ezt többek között a vizet veszélyeztető műanyag alapú vegyületek használata okozza.

Az útmutató esettanulmányokon keresztül igazolja, hogy az oltóvíz szennyezettségét nemcsak a jelen lévő veszélyes anyag okozhatja, hanem az építményszerkezet, a termelési és csomagolóanyagok, valamint a tűz során keletkező égéstermékek is, ezért a veszélyeztetés előfordulhat súlyos baleseti szempontból nem azonosított telephelyek esetében is. Hasonló környezeti veszélyeztetéssel lehet számolni a felhasznált oltóhab vízi környezetre veszélyes habképző anyagai esetében is.

Az oltóvíz által okozott kár kizárólag tüzesemény bekövetkezése után várható nagy mennyiségű szennyezett oltóvíz kibocsátásával együtt. Ezért az oltóvíz felfogása nem szükséges, ha a tűz lehetősége egyértelműen kizárható, vagy ha az esetlegesen bekövetkező tüzet nem vízzel oltják, továbbá ha az anyag kockázati potenciáljának az útmutató szerinti veszély- és kockázatelemzési eredménye zömmel „alacsony” és csak részben „közepes” értéket mutat.

Megállapítható továbbá, hogy a veszélyes anyaggal és áruval foglalkozó raktárak és termelő üzemek megkülönböztetése nem indokolt, mivel az oltóvíz által okozott károk mindkét esetben egyaránt kialakulhatnak.

A szerzők vizsgálatai alapján arra a következtetésre lehet jutni, hogy Európa-szerte jelentős azon korszerű raktárak száma, ahol már figyelembe veszik a felszíni és felszín alatti vizek szennyezett oltóvízzel történő szennyezés megelőzésének irányelveit. Azonban a meglévő raktáraknál és üzemeknél a vizsgált szakkérdésben még elmaradások mutatkoznak.

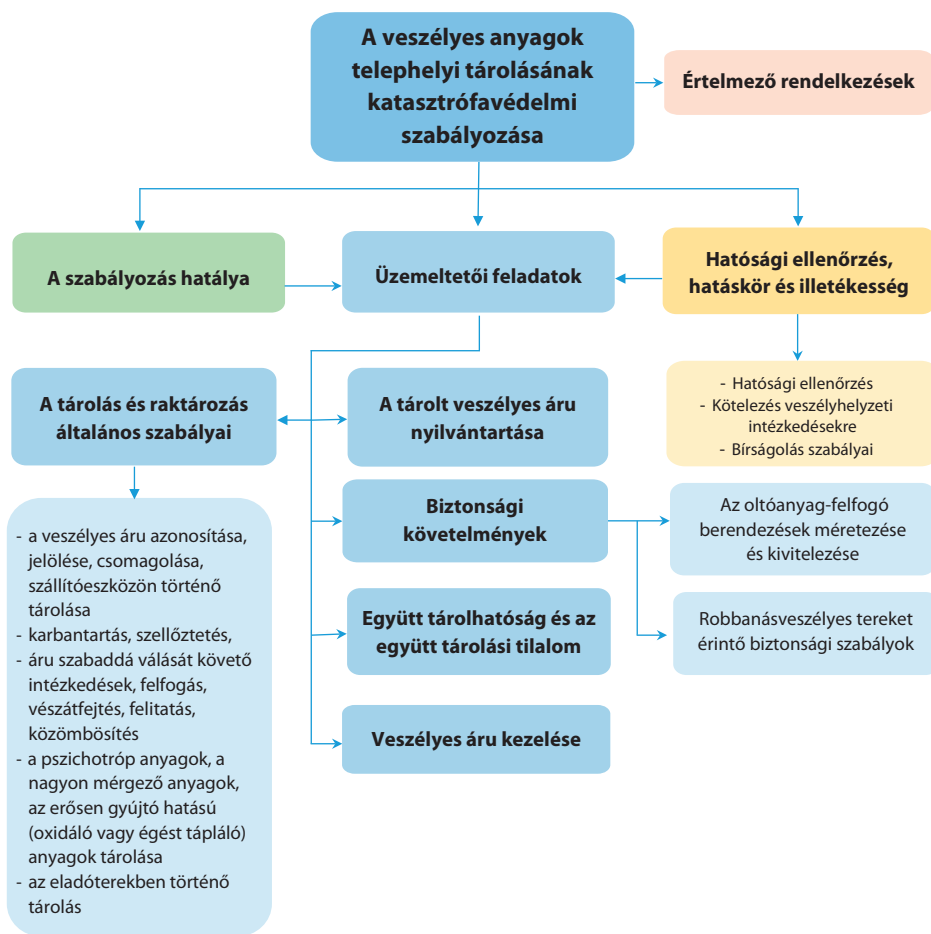
A veszélyesanyag-tárolás jogi szabályozásának lehetséges tartalma

A veszélyes áru közúti, vasúti, belvízi és légi szállítási folyamatot szabályozó nemzetközi ellenőrzési és szankcionálási előírások mellett, a veszélyes anyagok és a veszélyes áru telephelyi tárolási szabályai még nem jelentek meg a magyarországi szabályozásban. A közbiztonság, a lakosság élet- és vagyonbiztonsága, valamint a környezeti elemek védelme azonban indokolja, hogy a veszélyes anyagok és áru biztonságos telephelyi tárolása érdekében Magyarországon is – hasonlóan a német szabályozáshoz – egységes biztonsági szabályok legyenek érvényesek. A veszélyesanyag-tárolási szabályozással leginkább érintett veszélyes tevékenység a közúti veszélyesáru-logisztikai raktárbázisokban folyik, ahol a közúti veszélyesáru-szállítási ENSZ Európai Gazdasági Bizottság által kiadott szabályozás (ADR-szabályozás) hatálya alá tartozó szállítási csomagolásban lévő veszélyes anyagokat tárolnak. A raktáraknak korszerű biztonsági követelményeknek kell megfelelniük.²¹

²¹ SÁROSI 2006.

A katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról szóló 2011. évi CXXVIII. törvény 80. §. q) pontja felhatalmazta a Kormányt, hogy rendeletben szabályozza a veszélyes anyagok, veszélyes áruk telephelyi tárolásának katasztrófavédelmi szabályait.

A felhatalmazás alapján a Belügyminisztérium által több mint tíz évvel ezelőtt előkészített rendelettervezet²² szabályozni kívánta többek között az előírások alkalmazásához szükséges értelmező rendelkezéseket, a tárolás és a raktározás általános követelményeit, a tárolt veszélyes áru nyilvántartását, a kezelési előírásokat, az együtt tárolhatóság és az együtt tárolás tilalmának szabályait, a biztonsági követelményeket, a hatósági ellenőrzés rendjét.



1. ábra: A veszélyesanyag-tárolási szabályozás lehetséges felépítése

Forrás: KÁTAI-URBÁN szerkesztése

²² Kormányportál 2014.

A rendelettervezet melléklete tartalmazta még a veszélyes áru tárolásának mennyiségi határait, az eladóterekben történő tárolás rendelkezéseit, az erősen gyújtó hatású (oxidáló vagy égést tápláló) anyagok listáját, illetve az együtt tárolhatóságra vonatkozó előírásokat. A tervezet a tárolás és raktározás általános szabályai között említi a vészátfejtést és a veszélyesanyag-balesetet követő intézkedéseket (felitítás, felszedés, mentesítés). A tervezet foglalkozott továbbá azokkal a biztonsági követelményekkel, amelyek a szabadba jutott veszélyes anyag felfogásával, elvezetésével és összegyűjtésével kapcsolatos raktározási előírásokat tartalmazták.

A már üzemelő, viszonylag kis biztonságot jelentő raktárak esetében az átalakítás jelentős költséget jelentett volna, valamint a tervezet alapján sok esetben nem is lett volna megvalósítható. A szabályozás hatálybalépése esetén a meglévő és a tervezett raktárak biztonsági szintje között jelentős különbség alakult volna ki. A tervezet szerint a szennyezett oltóvíz vagy oltóanyagfelfogó berendezések méretezésénél és kivitelezésénél figyelembe kellett volna venni a kárfelszámolás során használt oltóvíz vagy oltóanyag mennyiségét azért, hogy az a felfogó műtárgykból ne juthasson ki. Az 1. ábra szemlélteti a veszélyes anyag tárolásával kapcsolatos szabályozásban rögzíteni javasolt jogintézmények kapcsolódását.

A szerzők megállapítják, hogy sajnálatos módon a rendelettervezet 2014. év elején nem kapott kormányzati támogatást, pedig a szabályozási szükséglet azóta is fennáll.

Befejezés

A veszélyes anyagok jelenlétében bekövetkező tüzesetek és események következményeinek felszámolása napjainkban egyre nagyobb kihívás elé állítja a biztonságsszervezési és védelmi rendszer egészét, a hivatásos katasztrófavédelmi szervezeteket, a civil mentőszervezeteket, a védelmi igazgatás különböző szintjeit, a gazdálkodó szervezeteket, valamint az állampolgárokat egyaránt.

A veszélyes anyagok tárolásának kockázatai hazánkban (csakúgy, mint külföldön) az ilyen tevékenységet folytató üzemekben, alapanyag, félkész és késztermékeket tároló létesítményekben jelentkeznek.

A szerzők a veszélyes anyagok tárolására nemzetközileg több jó gyakorlatot azonosítottak, amelyek közül kiemelkedik a jelen tanulmányban is vizsgált – a hazai jogi szabályozás létrehozásához alapot szolgáltatatható – a Német Szövetségi Köztársaságban már mintegy két évtizede alkalmazott jogi szabályozás és az arra épülő műszakiútmutató-rendszer.

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>

- BG RCI (2013): *Storage of Hazardous Substances*. Online: www.asecos.com/dokumente/M062_Code-of-Practice_Storage-of-Hazardous-Substances.pdf
- 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
- Deutscher Raiffeisenverband e. V. (DRV) (2018): *Leitfaden für Bau und Betrieb von Gefahrstofflagern und für die Abgabe von Gefahrstoffen an Dritte*. Online: www.raiffeisen.de/downloads/DRV-Leitfaden-Gefahrstoffe.pdf
- 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>
- European Chemicals Agency (ECHA) (2024): *CLP regulation*. Online: <https://echa.europa.eu/information-on-chemicals/euclef>
- HALÁSZ László – FÖLDI László (2014): *Környezetbiztonság*. Budapest: Nemzeti Közszerológai Egyetem. Online: <https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/20.500.12944/100403/562.pdf?sequence=1>
- Hazardous Substances Ordinance (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV)* (2010). Online: www.asecos.com/dokumente/Hazardous-Substances-Ordinance.pdf
- KÁTAI-URBÁN Maxim – HOFFMANN Imre – BÍRÓ Tibor (2019): Oltóvíz felfogó és tároló létesítmények tervezése és létesítése német útmutató alapján. *Hadmérnök*, 14(2), 111–122. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2019.2.9>
- 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>
- Kormányportál. A veszélyes anyagok, veszélyes áruk telephelyi tárolásának katasztrófavédelmi szabályairól szóló Korm. rendelet tervezete. Online: https://2010-2014.kormany.hu/hu/dok/?escaped_fragment_=DocumentBrowse&page=11&source=1&year=2014#!DocumentBrowse
- NAGY Rudolf (2023): A munkahelyi kémiai ártalmak és az iparbiztonság. *Polgári Védelmi Szemle*, 15(19), 261–279.
- NIVOLIANITOU, Zoe – KONSTANDINIDOU, Myrto – CHRISTOU, Michalis (2006): Statistical Analysis of Major Accidents in Petrochemical Industry Notified to the Major Accident Reporting System (MARS). *Journal of Hazardous Materials*, 137(1), 1–7. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.12.042>
- SÁROSI György (2006): *Veszélyes áru raktárlogisztika – korszerű követelmények*. Budapest: Complex.
- TEKNÓS, László – LAKATOS, Bence – VASS, Gyula (2023): Possibilities for Further Development of the Disaster Management Authority System. *American Journal of Research Education and Development*, 1, 17–25. Online: www.red.devlart.hu/issues/2023_1.pdf#page=17
- TRGS 510 (2013): *Technical Rules for Hazardous Substances. Storage of Hazardous Substances in Non-stationary Containers*. Online: www.baua.de/EN/Service/Technical-rules/TRGS/TRGS-510
- VASS, Gyula (2017): Industrial Safety Training in Disaster Management Higher Education in Hungary. *Pozhary i Chrezvychnyeh Situacii: Predotvrashenie Likvidacia*, 8(2), 80–84. Online: <https://doi.org/10.25257/FE.2017.2.80-84>
- 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>
- VINCE, Ivan (2008): *Major Accidents to the Environment: A Practical Guide to the Seveso II Directive and COMAH Regulations*. Oxford: Elsevier.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR) (2017): *Words into Action Guidelines. Implementation Guide for Man-made and Technological Hazards*. Online: www.undrr.org/publication/words-action-guideline-man-made/technological-hazards

Jogi források

Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road ADR

Az Európai Parlament és a Tanács 1272/2008/EK rendelete (2008. december 16.) az anyagok és keverékek osztályozásáról, címkézéséről és csomagolásáról, a 67/548/EGK és az 1999/45/EK irányelv módosításáról és hatályon kívül helyezéséről, valamint az 1907/2006/EK rendelet módosításáról

A katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról szóló 2011. évi CXXVIII. törvény

Rajmund Kuti,¹  Géza Zólyomi,²  Csenge Papp³ 

Development Directions of Fire-Fighting Equipment Using Aircraft Engines Abroad

In the last century, outstanding fire-fighting technology developments have occurred in Hungary. Mobile, quickly deployable, efficient, environmentally friendly tools and technologies with optimal fire extinguishing material use have come to the fore. This included equipment using exhaust gas from internal combustion engines and combustion products from aircraft engines for fire-fighting. The developers' goal is to reduce environmental and secondary damage during fire-fighting, and at the same time, they sought to increase the efficiency of fire-fighting processes by using measurably less fire-fighting material. In our article, we present the foreign developments of fire-extinguishing equipment that uses aircraft engines with a unique operating principle and is suitable for applying multiple types of fire-extinguishing materials, thus also for implementing complex fire-fighting. We review the design and construction of the equipment, their operating principle, examine their practical application possibilities, and present directions for future development.

Keywords: internal combustion engine, aircraft engine, exhaust gas, turbo-reactive fire extinguishing, fire extinguishing agent use, fire extinguishing efficiency

Introduction

Considering environmental and safety conscious aspects when investigating even fire cases, different road and industrial accidents can be stated to severely affect air, soil, water, and the built human environment.⁴ There is great effort for research, development, and practical implementation of new fire-fighting technologies to decrease environmental damage. Thus quick, effective, and favorable fire extinguishing material consumption are important.

¹ University of Győr, Faculty of Mechanical, Computer and Electrical Engineering, Department of Automation and Mechatronics, e-mail: kuti.rajmund@sze.hu

² Gyöngyös Disaster Management Department, e-mail: zolyomi@t-online.hu

³ University of Győr, Faculty of Mechanical, Computer and Electrical Engineering, Department of Machinery Design, e-mail: pappcsenge1996@gmail.com

⁴ FÖLDI–PADÁNYI 2021.

More and more research deals with fire-fighting activities, studies were published about new fire-fighting and fire extinguishing materials, techniques, and the experiences of intervention tactics. Aircraft engines were applied, during which operation exhaust gas was used for fire-fighting. Along with fire-fighting methods using different chemicals,⁵ water, which is the longest used and most environmentally friendly, has started to come to the fore again. Researchers have perfected several extinguisher devices based on the unique usage of water and water-mist production. Such devices are turbo reactive fire extinguishers, in the development of which Hungarian engineers acquired imprescriptible merit. The application of aircraft engines for fire-fighting, using the exhaust gas as inert gas coming from the engine to be fire extinguishing material was realised by Kornél Szilvay – firefighter colonel, mechanical engineer and inventor. In the description of Szilvay's patented dry extinguisher machine, an aircraft engine producing exhaust gas used as fire extinguisher is present. This device first cools down then compresses the exhaust gas to a proper pressure level. During fire-fighting, compressed gas transports powder from a reservoir and blows it into the fire. Szilvay, after whom this dry extinguisher was named, patented⁶ it in the USA and in Germany in 1924. His results ensured a proper base for further developments in fire-fighting techniques with exhaust gas. Several studies have dealt with the domestic developments of fire-fighting devices that apply aircraft engines and examined their practical implementation possibilities.⁷ In this article, we represent foreign developments and examine the structure, design, and application options of devices.

International development directions

Using aircraft engines in fire-fighting was dealt with internationally, inside the so-called *Comecon* countries, besides Hungary, in the Soviet Union. In the 1960s, experiments were conducted on jet engines to be applied for fire-fighting purposes.⁸ Researchers and experts from Novosibirsk were striving to create a device that is capable of extinguishing the ray-type fires of petroleum and natural gas wells. The aircraft jet engine was built on a lorry, thus it was mobilised. This fire extinguisher was created so that MIG-15 fighter aircraft provided the Klimov VK-107 type centrifugal compressor jet engine, and it was mounted on a Zil-157 off-road lorry. Hungary received two pieces of that vehicle for experimental purposes. Originally, the device only produced gas jets, and the introduction of water jets was a Hungarian development.⁹ Figure 1 represents the extinguisher device with the mounted water-jet pipes (marked with red).

⁵ NAGY 2023.

⁶ HADNAGY 2008.

⁷ KUTI 2023.

⁸ Демидов 1976.

⁹ VICZÓ 1977.

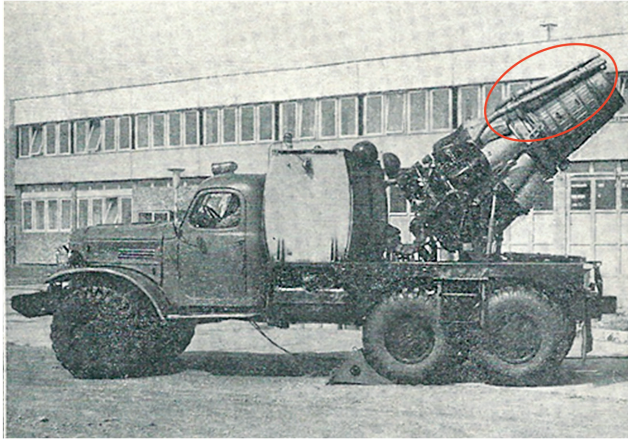


Figure 1: Aircraft engine mounted on a Zil-157 vehicle

Source: KUTI 2009

Soviet developments, which went on in the socialist era, only covered those devices that were appropriate for the extinguishing of hydrocarbon fires occurring during mining; apart from some special applications, pictures from the previously mentioned ones are not available. After the fall of the Soviet Union, Russia had already manufactured fire-fighting devices, which were represented in Germany at the Intersutz exhibition. Figure 2 represents a tracked turbo-reactive extinguisher from 2010.



Figure 2: Turbo-reactive extinguisher manufactured by Russian Pozhtehnika

Source: BLAULICHT 2010

It is visible from the picture that the device itself is mounted on the chassis of a tracked rotary lift and a Klimow type engine is used. Two water jets are driven in the outlet extinguishers on each side. Besides Hungary, experiments were conducted in the socialist era also in the German Democratic Republic (GDR), regarding the development of turbo-reactive extinguishers and their possible applications. The engineers of GDR started to design a device in 1982, which was produced in 1984.¹⁰ The self-manufactured IFA W-50 L/LA all-wheel drive truck was chosen as a carrier vehicle, a type that is made to carry a crane with a specially designed bogie. A Klimow WK-1 type jet was built on it from a MIG-17 Soviet fighter. The device got AGLF¹¹ as its name. Its unique design made it possible to create horizontally 80–100 and vertically 30–35 metres long extinguisher jets. In the outlet, two ray tubes are fixed through which 3000 litres of water per minute could be shot in ray flow from external water source. Extinguisher range is 0–180° horizontally and 75° vertically. Two pieces were produced from this vehicle, which were in service in the power plant of Vattenfall Europe Mining AG Schwarze Pumpe in Germany, Spremberg,¹² until 1993. These devices can be seen in Figure 3.



Figure 3: IFA AGLF
Source: BIEMER 2008

The extinguishers were successfully deployed in several fire cases; thus, they were updated in 1993. In order to have more excellent operational safety and better deployment, changes were made in the jet engine as well. As a result, the ray distance increased to 150 metres. Operators were modified, and a separate cab was mounted on the chassis. Carrier vehicles were changed to MAN brand, thus, reliability and movement speed increased. These vehicles were effectively applied several times in fire cases involving technological devices at the power plant.¹³ These extinguishers are deployable till nowadays, they are presented in Figure 4.

¹⁰ GIHL 2000.

¹¹ AGLF, Abgaslöschfahrzeug, vehicle with exhaust gas extinguisher.

¹² KUTI 2009.

¹³ SCHNEIDER 2006.



Figure 4: MAN AGLF
Source: HEIZLER 1997

Following the BIG WIND turbo-reactive extinguisher made in Hungary, engineers from GDR started to design a track vehicle on which an extinguisher was mounted with greater power output at the end of the 1980's, regarding the soviet technique. The device was actually not built due to the fall of GDR, but its plans remained. Following the great success of the Hungarian explosion-prevention unit managed to put out fires in Kuwait between 1991 and 1993, the tracked turbo-reactive extinguisher was built in the already-unified Germany, from which only one was made, and it is still recorded as operable and can be found in the German Fire Fighting Museum, Fulda. A T-55 combat tank was used as chassis on which a tower rotator on a manipulator arm, an R-13-300 type Soviet-made MIG-21 MF supersonic fighter aircraft engine was mounted. The device was called "Hurricane", and several successful practices were conducted with it, but real operation was not done. This device is presented in Figure 5.



Figure 5: Hurricane AGLF
Forrás: <https://dfm-fulda.de>

Further development was conducted by Zikun corporation in Germany, and in one of the world's biggest chemical plant, in BASF¹⁴ in Ludwigshafen, by the plant institutional fire brigade, the newest developed turbo-reactive extinguisher was applied in 1996.¹⁵ Since the device created water-mist aerosol, it was named ALF.¹⁶ It was invented to extinguish fires occurring in the chemical industry exactly. On a MAN three-axle, specially designed carrier, 2 pieces of Turbumecca Larzac 04 jet engines were mounted. Engines were operable and controllable independently from each other. Turbines drove two water jets by engines in ray flow, and the summarised water consumption was 6000 litres/minute, so 3000 litre/minute by turbines. The available maximum jet distance was 120 metres, and the maximum width of the extinguisher jet was 40 metres. Water jets were driven through special jet pipes before they were driven into deflection jets. The water jet figure, therefore, could be modified. Its role in water-mist creation, thus its efficiency in extinguishing, became obvious.¹⁷ Regarding closed and opened space interventions, several experiments were conducted in the enormous factory of Ludwigshafen by Germans before the device was applied. For instance, leak fires, warehouse fires and fires of technological devices were put out, and reservoirs were cooled down. It is remarkable that a liquid fire with a 270 m² surface was put out. The device can be seen in Figure 6 on standby and during operation.



Figure 6: Turbo-reactive extinguisher applied in 1996 by BASF
Forrás: BASF 2023

In 2005, a newer, so-called second-generation turbo-reactive extinguisher was systematised. A Mercedes Actros with three axles is the carrier vehicle, jet engines are the same type as in case of the previous one. The device is presented below, on the right-hand side during operation.

Considering the experiences of these devices during intervention and operation, Zikun Corporation made continuous developments about extinguishers. In the third generation of devices, a high-performance water pump was built in the carrier vehicle, thus, their ability to intervene is quicker, and their service is simpler. Higher-performance water jet pipes were

¹⁴ BASF – Badische Anilin und Soda Fabrik.

¹⁵ HEIZLER 1997.

¹⁶ ALF: Aerosollöschfahrzeug, firefighter with aerosol.

¹⁷ GIHL 2000.

built in; as a consequence, water consumption increased to 8,000 litre/minute, so 4,000 litre/minute by engines. These devices also got ALF as their name. Due to developments usage, application possibilities have expanded besides the so-called classic fire-fighting tasks. These are capable of extinguishing burning reservoirs, safety digs, cooling neighbouring reservoirs, bathing dangerous compounds entering the environment, putting out technological devices, cooling them down, extinguishing closed space, tunnel fires, cooling down built infrastructure, and also can be used as a pressurised ventilation system. Different possible applications are represented in Figure 8.



Figure 7: Turbo-reactive extinguisher applied in 2005 by BASF

Forrás: www.basf.com/global/de/who-we-are/organization/locations/europe/german-sites/ludwigshafen/neighbor-basf/environment-and-safety/fire-department/about_us/fleet.html



Figure 8: Application possibilities of turbo-reactive extinguishers

Forrás: Zikun 2010

Multiple practical application opportunities increased extinguishing efficiency further, also, due to continuous interest, the fourth generation of the devices is developed, which are assembled with a foam generator system besides a water pump and an extinguisher reservoir; these are produced by Zikun corporation. The built-in extinguisher reservoir and pumping system shortened the installation time; thus, fire-fighting tasks could have been started earlier. In industrial plants, until the intake is assembled, the extinguisher carried by the vehicle is perfect enough. The devices are continuously produced and applied in several chemical plants and industrial parks all over the world. Most of the time, MAN and Mercedes brands are chosen to be carriers, but in Belgium, Volvo chassis was used. In the US it was similarly a Mack chassis that served as a firefighter vehicle.¹⁸ In our western neighbourhood in Austria, institutional fire brigades in the Industrial Park of Schwechat received a fourth-generation Zikun turbo-reactive extinguisher in 2012, and this can be seen in Figure 9.



Figure 9: ALF applied in the Industrial Park of Schwechat

Forrás: www.btf-ipsw.at/loeschfahrzeuge.html

The fifth generation of turbo-reactive extinguishers is manufactured by the German Dicosy corporation. The fire-fighting device is the Turbo Hydro Jet Box (THJBoy), which is liftable from the structure of the carrier vehicle. One of its novelties is that the engine is operable with Diesel, which is less flammable than kerosene. The device, which was exhibited in Germany at the Interschutz Exhibition in 2015, can be seen in Figure 10.

¹⁸ ZIKUN 2010.



Figure 10: THJ 4000 during operation

Forrás: RUHDORF et al. 2021

The lifted extinguisher can be operated at 210° horizontally and between -10 and +60° vertically. Its water consumption is 4,000 litres per minute. Water pumps and a foam generator supply are built into the structure. The length of the extinguisher jet is 120 metres horizontally and 90 metres vertically. This device is used by the company Evonik on the site of Reinfeld.

Conclusion

We derived conclusions that fire-fighting devices using aircraft engines are further developed by foreign engineers based on the results and practical experiences of the Hungarians, and technology as well, thus, they designed better devices capable of putting out industrial fires and carrying out special tasks. One of the Hungarian results, which was taken into consideration by foreign researchers during the development of turbo-reactive extinguishers, was the inlet of extinguishing water into the gas flow, practically the application of dual flow method to create water-mist, which on the one hand cools down the exhaust gas coming from the jet engine and the environment of the fire as well. Another Hungarian development was the application of two jet engines on one platform, which made it possible to extinguish great-extent fires. German developers considered both Hungarian results as base, and they continued their work. The inlet of extinguishing water to gas flow was realised with the help of jet pipes, whose consequence was that the jet figure and size of water drops could be changed in order to increase the efficiency of extinguishing. The significance of unique jet pipe applications is that during their usage, the created water mist can perform more extinguishing effects at one time at optimal conditions. To increase the deployment efficiency and mobility of new generation turbo-reactive extinguishers, which were mentioned in our article, developers apply rubber-made tires instead of continuous track as carriers. Along with the two jet-engine structures, which enable combined fire-fighting and the application of the flame liftoff method,

the jet engine mounted on a liftable platform appeared as further development, and this also widened the usage opportunities. Available literature resources and deployment experiences were investigated; thus, it can be stated that the presented devices are quickly deployable as a result of the extinguisher reservoir built into the carrier vehicle. Until the inlet is not assembled, the extinguisher is enough, consequently, deployment time is shorter, resulting in decreased damages caused by fires. It can be stated that due to continuous developments, not only the efficiency, but also the the maximum of their extinguishing performance are increased, and their extinguisher consumption became more optimal. We concluded that during the operation of turbo-reactive extinguishers, water-mist production is achievable with measurably less extinguishing water, fire-fighting is still effective, and fewer damages are caused to the environment.

Summary

As a summary, it can be stated that due to foreign developments, turbo-reactive extinguisher devices are capable of choking oil well explosions, putting out different industrial fires, also dumping poisonous gases, intensive cooling with water mist, and working as positive pressure pumps. In our article, we presented how turbo-reactive fire-fighting devices went through continuous, practical, experience-based developments and what developments are in progress. Regarding their industrial use, it can be stated that future developments will ensure increasing combined extinguishing abilities and extinguishing efficiency. An important task is to decrease the installation time of devices, thus extinguishing may begin earlier.

The range of uses expands, and their fire-fighting efficiency continuously increases, resulting in more environmentally friendly fire-fighting. Nowadays, it is exceptional that aircraft engines are used in a wide range of industrial areas; moreover, Hungarian research and developments have served as a strong base for successful practical application.

References

- BASF website. Online: www.basf.com/global/de/who-we-are/organization/locations/europe/german-sites/ludwigshafen/neighbor-basf/environment-and-safety/fire-department/about_us/fleet.html
- BICZÓ, István (1977): *Különleges tűzoltó gépjárművek, utánfutók, szerek és felszerelések*. Budapest: BM.
- BIEMER, D. (2008): *Zeitreise. Feuerwehr Magazin*, 2008/12.
- Blaulicht Magazin. Online: <https://blaulicht-iv.ch/magazin/fachartikel/90-blaulicht-ausgabe-4-2021/425-hier-kommt-daniel-duesentrieb>
- FÖLDI, László – PADÁNYI, József (2021): Környezetbiztonsági kihívások a haderők számára. In GÖCZE, István (ed.): *Az egyházak és a katonai erők előtt álló kihívások, az együttműködés lehetőségei*. Budapest: Magyarországi Egyházak Ökumenikus Tanácsa (MEÖT), 49–60. Online: https://meot.hu/dokumentumok/2021szocet/Tanulmánykötet_MEOT_NKE.pdf#page=50
- GIHL, Manfred (2000): *Geschichte des deutschen Feuerwehrfahrzeugbaus*. Stuttgart–Berlin–Köln: Kohlhammer.

- HADNAGY, Imre József (2008): *Fejezetek a szárazoltás és a vízkármentes tűzoltás történetéből*. Védelem Online Tűz- és Katasztrófavédelmi Szakkönyvtár. Online: www.vedelem.hu/letoltes/anyagok/619-fejezetek-a-szarazoltas-es-a-vizkarmentes-tuzoltas-tortenetebol.pdf
- HEIZLER, György (1997): Turbóoltógép a BASF-nél. *Védelem, Katasztrófa- és Tűzvédelmi Szemle*, 4(4), 10–11.
- KUTI, Rajmund (2009): *Vízköddel oltó berendezések speciális felhasználási lehetőségei és hatékonyságuk vizsgálata a tűzoltás és kárfelszámolás területén*. PhD thesis. Budapest: Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem.
- KUTI, Rajmund (2023): Repülőgép hajtóművet alkalmazó tűzoltóberendezések magyarországi fejlesztései. In NAGY, Rudolf (ed.): *Szilvay Kornél Tűzvédelmi Konferencia*. Budapest, Magyarország, Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, 36–45. Online: <https://bgk.uni-obuda.hu/wp-content/uploads/2023/03/Szilvay-Kornel-Tuzvedelmi-Konferenciakiadvany-2023-PDF.pdf>
- NAGY, Rudolf (2023): A felületi feszültség jelenségének változó környezet-és tűzvédelmi dimenziói. *Biztonságtudományi Szemle*, 5(4), 95–119. Online: <https://biztonsagtudomanyi.szemle.uni-obuda.hu/index.php/home/article/view/360>
- демидов, П. Г. – повзник, Я. С. (1976): *Пожарная тактика*. Москва.
- RUHDORF, Annabell – WAGNER, Stefan (2021): Turbo-Hydro-Jet-Box Neue Bauform. *Feuerwehr*, (11), 34–37. Online: <https://dicosy.com/uploads/files/FW1121-34-37-Schwerpunkt-Dicosy.pdf>
- SCHNEIDER, P. (2006): Abgas-Löscher. *Feuerwehr Magazin*, (9), 47.
- Zikun Firetrucks GMBH (2010): *Turbo-Löscher manufacturer's description*. Riegel.

Végvári Zsolt¹ 

Optikai elemek 3D-nyomtatással történő előállításának lehetőségei²

Possibilities of Producing Optical Elements by 3D Printing

A 3D-nyomtatás napjainkban már nem számít rendkívülinek. A gyors prototípusgyártáson és az egyedi vagy kis szériás gyártáson túl a 3D-nyomtatók már részei a tömegtermelés infrastruktúrájának is. A 3D-nyomtatható anyagok palettája az elmúlt időszakban a számtalan műanyag mellett sok fémmel is gazdagodott. A 3D-nyomtatású elemek legfontosabb tulajdonsága a prototípusgyártás esetén a forma- és alakhűség, egyéb esetekben általában a mechanikai tulajdonságok számítanak. Jelen cikk azt vizsgálja, hogy az additív gyártástechnológia felhasználható-e olyan termékek előállítására, ahol azoknak az optikai tulajdonságai számítanak elsősorban.

Kulcsszavak: 3D-nyomtatás, optikai alkatелеmek, lencse, prizma, tükör

3D printing is no longer an extraordinary thing. In addition to rapid prototyping and one-off or low volume production, 3D printers are now part of the mass production infrastructure. The palette of 3D printable materials has recently expanded from a myriad of plastics to include many metals too. The most important feature of 3D printed components is their dimensional and shape accuracy for prototyping, while in other cases it is usually the mechanical properties that matter. This paper investigates whether additive manufacturing technology can be used to make products where their optical properties are primary important.

Keywords: 3D printing, optical elements, lens, prism, mirror

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

² 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

Az additív, vagyis az anyag-hozzáadásos gyártástechnológia nem azonos a 3D-nyomtatással, ez utóbbi csak az egyik lehetséges megvalósítása az additív gyártásnak. Az azonban tény, hogy a 20. század végéig a legtöbb ipari termék előállítása alapvetően szubsztraktív jellegű volt, azaz az anyageltávolításon alapult. Különösen jól látszik ez a jelleg a gépelemek esetében. Itt a hagyományos gyártási módszerek az esztergálás és marás, a nevükben is jelzik, hogy minden esetben egy alpanyagtömbből mechanikus úton addig távolítunk el kisebb-nagyobb darabokat, amíg az a kívánt méretet és formát el nem éri. Egy másik jellemző gyártástechnológia, az öntés (műanyagok esetében a fröccsöntés) nem egyértelműen additív eljárás, hiszen nem az anyag folyamatos hozzáadásával épül a késztermék, hanem egyetlen mozzanat eredményeként jön létre. Léteznek persze igen régi hagyományos és viszonylag széles körben alkalmazott additív technológiák is, mint például a laminálás, ám ezek aránya a teljes termelésen belül korábban igen kicsi volt.³

A 3D-nyomtatás alkalmazási lehetőségei

A múlt század nyolcvanas éveinek végén jelentek meg az első műanyagok olvasztásos réteglekötésére alkalmas eszközök, amelyeket ma már 3D-nyomtatónak nevezünk (az első kiemelkedő szabadalmat Hideo Kodama japán feltaláló nyújtotta be 1981-ben, a találmányát „gyors prototípus-készítő eszközként” nevezte meg).⁴ Ezek az eszközök igen drágák voltak és rendkívül lassan dolgoztak, ám alkalmasak voltak teljesen egyedi, de pontos méretezésű munkadarabok előállítására, amivel nagyban elősegítették komplex termékek, például gépek, gépjárművek fejlesztését. Ezek fejlesztése során igen gyakran előfordul, hogy a mérnökök próbát tesznek egy-egy gépelem, például egy fogaskerek méretének és/vagy formájának átalakításával, ám ehhez minden esetben elő kellett állítani az új fogaskereket. Ehhez nyilvánvalóan nem programozták át a szubsztraktív gyártósorokat, hanem többnyire kézzel készítették el a szükséges alkatrészt, ami nemcsak időigényes volt, de fokozottan kellett figyelni a mérethelyességre is. Az első 3D-nyomtatók ezt a fejlesztést segítették elő a gyors prototípusgyártás (*rapid prototyping*) képességével, amely máig az ilyen eszközök egyik fő alkalmazási területe,⁵ de oktatási céllal is jól használhatók.⁶

A 2000-es évek elején jelentek meg az első, fémek nyomtatására is alkalmas nyomtatók, amelyek nagy lökést adtak az additív gyártástechnológia elterjedésének, hiszen az ezekkel előállított alkatrészek nemcsak méretpontosak voltak, de már mechanikus terheléses próbákra is lehetőséget nyújtottak. Napjainkra a fémek nyomtatása terén már több technológia is versenyben van, némelyik a nyomtatás sebességét tekintve van előnyben a többivel szemben, némelyik a nyomtatás minőségében vagy más paraméterben. A nyomtatható anyagok

³ ZENTAY–HEGEDŰS–VÉGVÁRI 2022.

⁴ RÁKOSI et al. 2023.

⁵ ZENTAY–HEGEDŰS–VÉGVÁRI 2022.

⁶ HEGEDŰS–GYARMATI–GÁVAY 2022; GYARMATI 2023.

palettája is jelentősen bővült. Több tucatnyi eltérő tulajdonságú műanyag alapanyag kapható,⁷ és a 3D-nyomtatásra alkalmas fémek és ötvözetek száma is – technológiától és gyártótól függően – 50 körülire tehető. Ezek alkalmazása azonban számos esetben új nyomtatási eljárás kifejlesztését is igényli.⁸

Bár a 3D-nyomtatás a sebessége miatt, részben a jelentős energiaigényéből fakadóan, általában nem versenyképes a tömeggyártásban, bizonyos esetekben mégis jelen van, mert általa olyan komplex formák is kialakíthatók, amelyek hagyományos szubsztraktív eljárással csak több lépcsőben, több alkatrész kombinációjában, vagy egyáltalán nem hozhatók létre. A 3D-nyomtatók ipari szintű alkalmazásának egyik tipikus terepe a gázturbinák gyártása, ahol a modern hajtóművek olyan bonyolult geometriájú elemeket tartalmaznak, amelyeket korábban csak tucatnyi külön-külön is több lépcsőben előállított alkatrész összeillesztésével gyártottak le, így a 3D-nyomtatás nemcsak gyorsabb, de jobb minőséget is nyújt. A bonyolult geometria alkalmazásának másik előnye, hogy alkalmazásával elhagyható az az anyagmennyiség, amely korábban csak gyártástechnológiai okok miatt volt jelen, de nem vett részt a mechanikai terhek viselésében. Ezzel a módszerrel jelentős tömegcsökkenés is elérhető, ami nemcsak a repülőgép- és űrtechnikában kiemelkedően fontos, de egy-egy alkatrész akár 20%-os lehetséges tömegcsökkenése már az autógyártók érdeklődését is felkelti.

Különösen érdekes kérdés a 3D-nyomtatás katonai, azon belül is a műveleti logisztikában történő alkalmazhatósága. A jelenlegi technológia még mindig nem teszi lehetővé, hogy a 3D-nyomtatók megjelenjenek a katonai műveleti területeken, de a hadseregek élénken figyelik a fejlődést, és maguk is részt vesznek terepi próbákon.⁹ Ugyanis a digitális raktárkészlet filozófiája, ha a gyakorlatban is megvalósul, az hatalmas áttörést jelenthet a katonai műveletek logisztikai támogatása terén.¹⁰

Összességében elmondható, hogy a 3D-nyomtatók ma már egyáltalán nem űrtechnikás berendezések, hanem az iparban széles körben alkalmazott eszközök, amelyeknek további terjedése is előrejelezhető. A már említett gyors prototípus-előállításon túl nagy mennyiségben gyártanak ezzel az eljárással egyedi orvosi implantátumokat, de már a tömegtermelésben is alkalmaznak fém és kompozit 3D-nyomtatókat például különféle járműalkatrészek gyártására,¹¹ sőt katonai célú robbanóeszközök, úgynevezett idomtöltetek előállítására,¹² vagy robbantástechnika oktatására is.¹³ Ugyanakkor a már hagyományosnak tekintett műanyag és fém alapanyagok nyomtatásánál a munkadarab pontos mérete mellett szinte kizárólag a megfelelő mechanikai tulajdonságai (keménység, kopásállóság stb.) számítanak. Viszont léteznek az ipari termelésnek olyan szegmensei, ahol ezek kevésbé lényegesek. Ilyen terület az optikai ipar.

⁷ KALSOOM–NESTERENKO–PAULL 2016.

⁸ LEE–AN–CHUA 2017.

⁹ VÉGVÁRI 2023.

¹⁰ GÁVAY 2023.

¹¹ HEGEDŰS 2023.

¹² EMBER 2023.

¹³ KOVÁCS 2022.

Az optikai elemekkel szemben támasztott követelmények

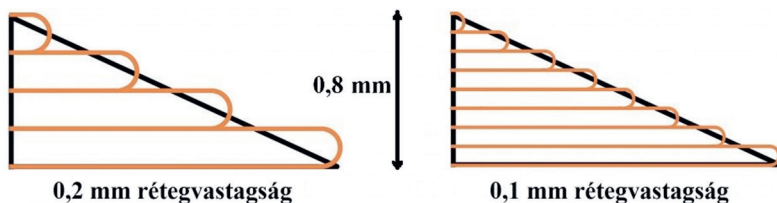
Az optikai eszközöket igen széles körben használjuk, bár a jelenlétük sokszor nem szembetűnő. A korszerű mobiltelefonok és egyéb digitális mobil eszközök szinte mindegyikében van kamera, és abban egy, kettő vagy több lencse. Az optikai eszközök alkalmazása megkerülhetetlen a csillagászatban, de az orvostudományban is. Különösen nagy a jelentősége az optikai eszközöknek a haditechnikában, hiszen nyilvánvaló, hogy például egy korszerűbb, pontosabb irányzóberendezéssel ellátott harckocsi komoly műveleti előnyt élvez a harctéren. Az ilyen eszközök lelke függetlenül attól, hogy hagyományos (például távcső) vagy elektrooptikai (például infravörös) eszközről van szó, az optikai elemek, amelyeket pontosan azért helyezünk a fény útjába, hogy azok a számunkra kívánt hatást (például a távolabbra látást) biztosítsák. Természetesen ezeknek az optikai elemeknek is fontosak a mechanikai vagy egyéb környezetállósági tulajdonságaik, de ezeknél sokkal nagyobb jelentőségűek az optikai jellemzőik.

Az optikai elemeket alapvetően három nagy csoportba sorolhatjuk aszerint, hogy a működésük a fény milyen tulajdonságán alapul. A fény visszaverődésén, azaz a reflexión alapulnak a tükrök, a fénytörésen (refrakció) a lencsék és prizmák, míg a fényelhajláson (diffrakció) az optikai rácsok. Ez utóbbiak nem hétköznapi eszközök, jobbra csak a fizikusok kísérleti eszközeiben, illetve nagyon drága mérőeszközökben, például lézerdiffrakció elvén működő nm-es tartományú részecskenagyság-mérőben találhatunk belőlük, így gyártásuk volumene sem jelentős. Tömeggyártásuk nehezen is lenne technológizálható, mivel a rácsok távolsága az alkalmazástól függően a μm -es vagy az alatti tartományba esik, miközben nagyon fontos, hogy ez a távolság állandó legyen.

Egészen más a helyzet a tükrökkel, lencsékkel és prizmákkal, amelyekkel gyakran találkozni a mindennapok során is. A legkézenfekvőbb ilyen eszköz a hagyományos síktükrő, amelyet olcsón lehet gyártani az egyszerű táblaüvegből. A domború és homorú gömbtükrök, illetve a paraboloid tükrök előállítása már sokkal nehezebb, itt gyakori, hogy egy hordozó anyagra gőzöléssel viszik fel a tükröződő réteget, amely az esetek nagy részében ezüst, ugyanis ennek az anyagnak a legjobb a reflexiós tényezője, a ráérkező fény mintegy 98%-át visszaveri, és csak 2% veszteséget okoz az elnyelődés. Széles körben használják még az alumíniumot is, ami a némileg rosszabb reflexiót az olcsóságával kompenzálhatja bizonyos esetekben. Ilyen tükröződő réteget sík felszínen is alkalmaznak, ha különösen fontos a jó reflexió. A legtöbb fejtörést a lencsék és prizmák gyártása okozza, amelyeket több lépcsőben, lassú és nagy pontossággal végzendő művelet révén állítanak elő a hagyományos módokon.

Könnyű elképzelni, hogy milyen előnyökkel járna, ha ezt az igen hosszú gyártási folyamatot le lehetne rövidíteni például a 3D-nyomatás segítségével. Az optikai elemek egylépcsős előállítása ugyanakkor valószínűleg még a legkorszerűbb additív technológiák alkalmazásával sem érhető el, mert a gyakorlatban jelenleg elérhető legkisebb rétegvastagságok, azaz 0,05–0,1 mm mellett is szükség van valamilyen utómegmunkálásra,¹⁴ ugyanis az optikai elemek elvárt felületi pontossága akár a néhány μm -es nagyságrendbe is eshet. Ilyen eltérések mérése mechanikus eszközökkel már nem is lehetséges, csak lézeres interferométerrel.

¹⁴ ZENTAY–HEGEDŰS–VÉGVÁRI 2023.



1. ábra: Az alkalmazott rétegvastagság hatása a felület pontosságára
 Forrás: ZUZA 2018

A nem reflexió elvén működő optikai elemek sajátja, hogy azokat a fény útjába tesszük, így ezek legfontosabb tulajdonsága az átlátszóság (transzparencia), ami nem keverendő össze az áttetszőséggel (transzluencia). Közismert, hogy a fény, amikor egyik közegből átlép a másikba, akkor a Snellius–Descartes-törvény szerint megtörik. Az áttetsző tárgyak átengedik ugyan a fényt, de az anyag egyes részecskéi eltérő törésmutatóval rendelkeznek, így az ilyen anyagból álló tárgyakban a fény szórttá válik, a kép elmosódik. Az átlátszó anyagok törésmutatója homogén, a rajtuk áthaladó fény megtörik ugyan, de a kép éles marad. Az átlátszóságot %-ban szokás megadni, és általában 3–5 mm vastagságú mintákon mérik.¹⁵ Ennek az az oka, hogy az alkalmazott optikai elemek többsége is ebbe a mérettartományba esik, másrészt a nagyobb vastagságú mintákon nem arányosan csökkenne az átlátszóság, ugyanis a jó átlátszóságú anyagoknál a veszteség nagyobb részét okozza a felülethatáron tapasztalható reflexió és csak kisebb részét a közegben történő elnyelődés (abszorpció).

Az optikai elemek alapanyagai és hagyományos megmunkálásuk

A fentieknek megfelelően függetlenül a megmunkálás fajtájától jelentősen leszűkül az alkalmazható anyagok köre. Ezek lényegében a néhány kristály, a különféle üvegek és néhány műanyagfajta. Az optikai eszközökben a kristályok alkalmazása marginális, és a kristályrács mint struktúra okán ezek 3D-nyomatása egyetlen jelenleg ismert eljárással sem megoldható, így lényegében az üvegek és műanyagok állnak a rendelkezésünkre.

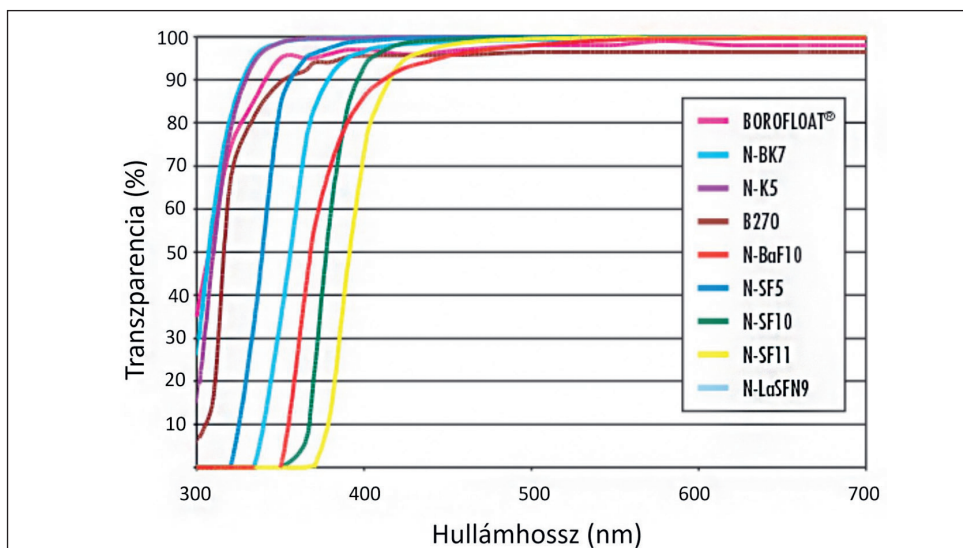
Az üvegeknek számtalan típusa van; a legegyszerűbb a kvarchomok alapanyagból készülő közönséges ablaküveg, ami lényegében szilícium-dioxid némi karbonát és fémoxid adalékkal, amelyek csökkentik a kvarchomok olvadáspontját, egyben javítják a kész üveg kémiai ellenálló képességét. A közönséges ablaküveg átlátszósága a szennyeződés (leggyakrabban vasoxid) mértékétől függően 80–90% körüli,¹⁶ a törésmutatójuk körülbelül 1,45.

Lényegében az optika feltalálása óta gyártanak speciális adalékolással és gyakran ipari titoknak számító eljárásokkal olyan üvegeket, amelyek a hagyományosnál jobb átlátszóságúak, miközben a törésmutatójukat tekintve is rendkívül homogének. Ezeket fénytani üvegeknek nevezzük, két klasszikus fajtájuk a flintüveg és a koronaüveg. A flintüvegeket nehézfémek

¹⁵ WEBER 2003.

¹⁶ WEBER 2003.

(ólom, bárium) oxidjaival és sóival adalékolva gyártják, a törésmutatója 1,75 is lehet (a nagyobb törésmutató kedvezőbb az optikai elemek esetében, mert több lehetőséget biztosít az eszközök tervezése során). A koronaüvegek jellemző törésmutatója 1,6 körüli, ezeket alkálifémek (nátrium, kalcium, kálium) oxidjaival készítik.¹⁷ Már a 18. században is tudtak előállítani olyan üvegeket, amelyek törésmutatója két tizedesjegyre állandó, míg a mai korszerű technológiával előállított fénytani üvegek törésmutatója akár öt tizedesjegyre állandónak tekinthető.



2. ábra: Gyakran használt fénytani üvegek transzparenciája a látható fény tartományában

Forrás: Optical Glass [é. n.]

A flint- és koronaüvegeket is öntéssel állítják elő. Ez egy igen hosszadalmas és energiaigényes művelet, mert az olvadéknak a lehető leghomogénebbnek kell lennie. A kész tömbökből darabolással, marással vágják ki a megfelelő méretű darabot, majd következik a több lépcsőben végrehajtott csiszolás, a polírozás és a központosítás. Ez utóbbit csak a lencsénél kell elvégezni, prizmánál értelemszerűen nem. A kívánt geometriájú elemet gyakran vékonyrétegzésnek is alávetik, például polarizációs szűrőréteget képezve rajta.¹⁸

Az üveg csiszolása annak ridegsége miatt csak igen lassan végezhető el. Csiszolóanyagként a kommersz eszközöknél homokot, professzionális eszközöknél a gyémántéhoz hasonló kristályszerkezetű és hasonlóan kemény szilícium-karbidot használnak, amely ugyan nem mérgező, de rendkívül irritatív anyag, így nagy figyelmet igényel a használata. A csiszolás célja egyrészt a kívánt geometriai forma minél tökéletesebb kialakítása, másrészt pedig a felszín simává tétele, azaz az inhomogenitás csökkentése. Ez a munka rendkívüli precizitást igényel,

¹⁷ BACH-NEUROTH 2013.

¹⁸ GERHARD 2018.

mert a nem tökéletes geometriai forma torzítja a képet, másrészt a nem kellően sima felszínen szóródik a fény, ami szintén rontja a kívánt optikai tulajdonságot. Számos műanyagfajta is létezik, amely átlátszó.

1. táblázat: A közismert átlátszó műanyagok és üvegtípusok összehasonlítása

Közismert név	Teljes név	Rövidítés	Olvadáspont (°C)	Fajlagos tömeg (g/cm ³)	Átlátszóság (%)	Szakítószilárdság (MPa)
polietilén- glikol	polyethylene terephthalate glycol	PETG	250	1,27	92	50
plexi, akril	poly(methyl methacrylate)	PMMA	160	1,19	92	40
polikarbonát	polycarbonate	PC	300	1,2	91	65
ciklikus olefin kopolimerek	cyclic olefin copolymers	COP	120	1,12	93	57
ablaküveg	–	–	1500	2,5	86	7
flintüveg	–	–	1500	2,44–5	99	5–10

Forrás: KALTENBACH 2004 és Overview of Materials for Cyclo Olefin Polymer [é. n.] alapján¹⁹

A fentiekén kívül még sok átlátszó műanyag létezik, például polivinil-klorid (PVC), polietilén (PE), ám ezek optikai tulajdonságai lényegesen rosszabbak, mint a táblázatban foglaltaké. Igazán jó optikai tulajdonságot csak a táblázatban lévő műanyagokkal lehet elérni. Természetesen ezek nem a kereskedelmi forgalomból is ismert anyagok, hanem azok rendkívüli tisztaságú változatai, amelyek előállítása bonyolultabb és drágább.

Az látható, hogy a hagyományos alkalmazás területein (nyílászárók, világítástechnika) a műanyagoknak most is jelentős a piaci részesedése, és ez valószínűleg az egyébként jogos környezetvédelmi aggályok ellenére még tovább fog nőni a hagyományos ablaküvegekkel szemben. Ugyanakkor a professzionális optikai üvegekhez képest még a legjobb műanyagok optikai tulajdonságai is jelentősen elmaradnak. A rosszabb átlátszóság mellett a törésmutatójuk is gyengébb, ráadásul az a hőmérséklet függvényében is változik, mert az üveggel ellentétben a műanyagok már a szobahőmérséklethez viszonylag közeli hőmérsékleteken is meglágyulnak. Ezekből kitűnik, hogy a professzionális felhasználás tekintetében a hagyományosnak tekinthető flint- és koronaüvegek pozícióját nem veszélyeztetik a műanyagok, de a kisebb minőségi elvárásokat támaztó kommersz alkalmazásokban (például mobilszközök), az olcsó műanyagok már most is szerephez jutnak. A műanyagoknak az alacsony olvadáspontja és általában a hőre lágyuló tulajdonsága számos esetben eleve alkalmatlanná teszi őket a használatra. A keménységük sem kiemelkedő, de az üvegekhez képest sokkal kevésbé ridegek, a szakítószilárdságuk egy nagyságrenddel meghaladja az üvegekét, így jól tolerálják a mechanikai behatásokat, ami ugyancsak előnyös lehet néhány területen.

¹⁹ A források többsége eltérő értékeket ad meg, vagy eleve tartományokat. A Kaltenbach-féle könyv tartalmazza a jellemző (átlagos) értékeket, így ezeket tekintetem irányadónak.

Optikai elemek gyártására alkalmazható 3D-nyomatási eljárások

Érdekes módon a hagyományos üveg gyártásának létezik 3D-nyomatatásos eljárása, de ezt extrém formájú üvegtárgyak létrehozására használják,²⁰ aminek oka a mintegy 1500 °C környéki olvadási hőmérséklet. A szilícium-dioxid olvasztékát már képesek szabályozottan lerakni, de az elérhető felbontás csak mm-es nagyságrendű, ami meg sem közelíti az optikai elemek által igényeltet, így nem lenne megspórolható a csiszolás és polírozás nagy része, vagyis semmit sem nyernénk a hagyományos gyártási eljárásokhoz képest.

A műanyag tárgyak additív előállítására a legkézenfekvőbb a szálhúzásos (*fused deposition modeling*, FDM), illetve egyéb anyagkiszajtolásos eljárások nem használhatók igazán optikai elemek gyártására. A műanyagok 3D-nyomatására széles körben alkalmazott professzionális, sőt a hobbicélú FDM-nyomatók többsége is képes ugyan a PETG-alapanyagot kezelni, de ezekkel csak áttetsző tárgyak állíthatók elő, átlátszók nem. Ennek részben oka a technológiával elérhető maximum 200 µm-es felbontás, de a legnagyobb problémát a kiszajtolt anyagban képződő légbuborékok jelentik, amelyek teljesen diszperzzé teszik a nyomatot. Bár optikai elemek gyártására a technológia alkalmatlan, a hobbifelhasználók körében népszerű alapanyag a PETG, mert tetszetős áttetsző tárgyakat lehet készíteni belőle.

A főbb 3D-nyomatási eljárások közül szintén alkalmatlan a laplaminálás (*sheet lamination*) mindegyik fajtája, elsősorban a gyenge, 100 µm-es elérhető legjobb felbontás okán, és az elégtelen felbontásból adódóan a legtöbb porágyas (*powder bed fusion*), kötőanyag- és anyagfűvászos (*binder jetting* és *material jetting*), továbbá közvetlen energiával történő anyagolvasztásos (*directed energy deposition*) eljárás sem használható jelenleg.²¹ Azonban mindegyik megoldásnál folyamatosan javítják a felbontást is. Ha a fenti technológiák bármelyike képes lenne legalább egy nagyságrenddel jobb felbontásra, az valószínűleg könnyen adaptálható lenne nemcsak műanyagok, de az üveg 3D-nyomatására is, így megnyílna az út a flintüveg vagy koronaüveg alapanyagú 3D-nyomatott optikai elemek előállítására felé.

Nagyon jól használható viszont kommersz műanyag optikai elemek előállítására az UV-polimerizáció (*vat polymerization*) egyik fajtája, nevezetesen a sztereolitográfia (*stereolithography*, SLA). Itt fényérzékeny polimergyanta az alapanyag, amely UV-sugárzás hatására megszilárdul. Egy precíz UV-lézer segítségével nagyon pontosan, akár 50 µm-es felbontással ki lehet keményíteni a gyantából a végleges formát, az úgynevezett mikro-sztereolitográfia (µSLA) segítségével pedig akár 2 µm-es felbontás is elérhető.

Még jobb pontosságot (azaz nagyobb felbontást) tesznek lehetővé azok az elmúlt, körülbelül 10 évben kifejlesztett polimerizációs eljárások, amelyek hasonlítanak a sztereolitográfiára, de azzal ellentétesen negatív fotomaszkot hoznak létre. A gyantaszerű szilárd alapanyagból az anyag molekuláihoz hasonló nagyságrendbe eső hullámhosszú infrafénnyel megvilágítva oldhatóvá teszik a felesleges részeket, így ez a módszer érdekes módon nem is tekinthető additívnak, bár mivel rétegről rétegre történik a tárgy létrehozása, egyértelműen 3D-nyomatásról van szó. Az ide tartozó eljárások közül a multifoton-elnyelődéses polimerizációval (*multiphoton*

²⁰ TOOMBS et al. 2020.

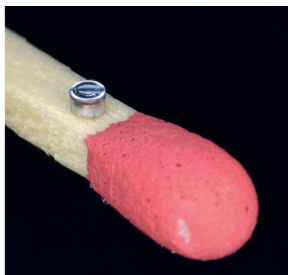
²¹ LEE-AN-CHUA 2017.

absorption polymerization) akár $1\ \mu\text{m}$ -es, a kétfotonos polimerizációval (*two-photon polymerization*) akár $0,2\ \mu\text{m}$ -es, míg az úgynevezett direkt lézerírással (*direct laser writing*) akár $0,1\ \mu\text{m}$ alatti felbontás is megvalósítható,²² ami feleslegessé teszi, vagy legalábbis nagyban leegyszerűsíti az utólagos megmunkálást. A nagy pontosság ára a sebesség, mert egyetlen cm^3 nyomat létrehozása két órát is igénybe vehet.

3D-nyomtatott optikai elemek a gyakorlatban

Amint az látható, a professzionális eszközök esetében a közeli jövőben biztosan megmarad a flint- és koronaüvegből csiszolt optikai elemek általános alkalmazása, ugyanakkor a polimerizációs eljárásoknak köszönhetően óriási lendületet vett a kommersz eszközök körében a műanyag optikai eszközök 3D-nyomtatással történő előállítása, és ma már több cég is kínálja a fejlett polimerizációs eljárásokra épített termékeket.

A stuttgarti Printoptix cég már közel tíz éve tervez és gyárt egyedi megrendelésre és/vagy kis sorozatban különleges lencsákat. Specialitásuk a nagyon kis méret, akár $0,2\ \text{mm}$ átmérőnél kisebb lencsákat is képesek nagy pontossággal előállítani. Ezeket gyakran orvosi endoszkópos eszközökben alkalmazzák.²³ Ilyen, úgynevezett mikrolencsákat korábban is készítettek fénytani üvegből, de az új módszer nem csupán olcsóbb annál, hanem számottevően lerövidül az előállításhoz szükséges idő is.



3. ábra: Teljes $1,1\ \text{mm}$ átmérőjű, 90° -os látószögű lencserendszer kétfotonos polimerizációs eljárással gyártva
Forrás: HOGAN 2022

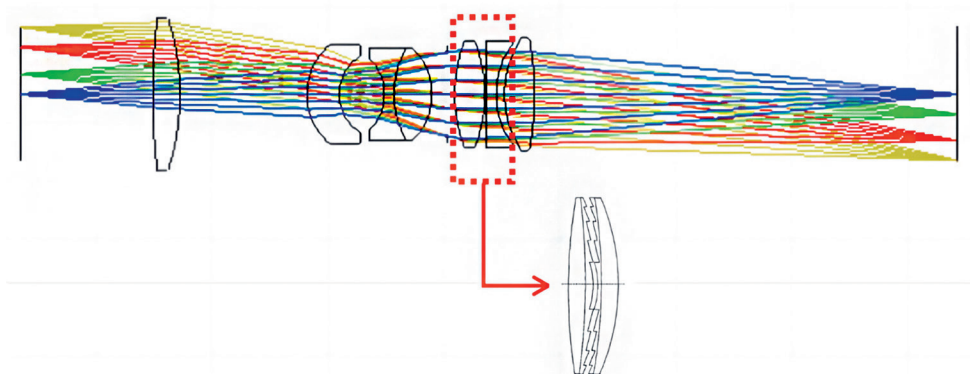
Az ohioi Bataviában székelő R&D Optics 3D-nyomtatási eljárással készít szemüveg- és kontaktlencsákat egyedi igények szerint. A Luxexcel névre hallgató lencséknek igen jó optikai tulajdonságaik vannak. A törésmutatójuk $1,53$ -as értéke megközelíti a flintüvegekéét, az átlátszóságuk is összemérhető a legjobb fénytani üvegekkel, hiszen $99,4\%$ -os, mindössze $0,1\%$ torzítás mellett. A lencsék fajlagos tömege $1,15\ \text{g}/\text{cm}^3$, és minden szükséges egészségügyi engedéllyel rendelkeznek. Kívánság szerint ellátják őket karcálló és/vagy tükröződés gátló réteggel és egyéb szűrőkkel, egyelőre egyedül a polarizációs szűrő hiányzik a lehetőségek

²² BLACHOWICZ–EHRMANN–EHRMANN 2021.

²³ Protonix [é. n.].

közül.²⁴ A cég Luxexcel VisionMaster néven optikai laborok számára teljes szolgáltatást is nyújt, amelybe beletartozik a helyszínen üzemeltetett 3D-nyomtató is. Ezzel a megoldással a korábbi többnapos átfutási idő helyett a recept átadását követő 1–2 óra alatt hozzájuthat a szükséges látásjavító eszközhöz a páciens.

A 3D-nyomtatás technológiája egyre szélesebb körben elérhető, és az orvosi ellátástól kezdve a repülőgépgyártásig már számos területen sok éve alkalmazzák nem csupán prototípusok és egyedi eszközök előállítására, hanem nagyobb sorozatok gyártására is. Eközben az optikai elemek gyártása a nagy pontosság igénye okán csak az elmúlt 10 évben vált lehetségessé. Az itt elvárt néhány nm-es pontosság ugyanis még az orvosi implantátumoknál is nagyobb gyártástechnikai kihívást jelent. Ugyanakkor az optikai elemek területén is ugyanazok az igények jelentkeznek, mint amik korábban például a gépgyártás területén mutatkoztak. Gyors prototípusgyártás, egyedi eszközök gyártása, különleges geometriai formák kialakítása. Ez feltételezi, hogy ha a 3D-nyomtatás technológiája a jövőben nagyobb pontosságot tesz lehetővé, általánossá válik a 3D-nyomtatott optikai eszközök használata.



4. ábra: Összetett ragasztott lencserendszer

Forrás: HU–HUO–CHENG 2022

Nem csupán a 3D-nyomtatás technikája fejlődik, de eközben az alkalmazható anyagok köre is egyre bővül. Az újfajta, egyelőre még többnyire titkos összetételű polimerek megjelenése is csak a sztereolitográfiai módszerek fejlődésének köszönhető. A fellelhető publikációk számából is jól látszik, hogy a területet élénken kutatják mind az anyagtechnológia, mind a 3D-nyomtatás technológiájának oldaláról, így ha áttörés nem is, de folyamatos és dinamikus fejlődés várható. Jelenleg a komplex, képfordítást, nagyítást/kicsinyítést is végző optikai eszközök még gyakran több optikai elem összeragasztásával készülnek, ahol nehéz a megfelelő törésmutatójú ragasztó létrehozása, és a nem feltétlen teljesen azonos optikai tulajdonságú egyes elemek illesztése az optikai problémákon túl mechanikusan is nehézkessé teszi ezek kialakítását.

²⁴ 3D Printed Lenses [é. n.].

Felhasznált irodalom

- 3D Printed Lenses [é. n.]. R&D Optical (blog). Online: <https://randdoptical.com/3d-printed-lenses/>
- BACH, Hans – NEUROTH, Norbert (2013): *The Properties of Optical Glass*. Berlin: Springer.
- BLACHOWICZ, Tomasz – EHRMANN, Guido – EHRMANN, Andrea (2021): Optical Elements from 3D Printed Polymers. *E-Polymers*, 21(1), 549–565. Online: <https://doi.org/10.1515/epoly-2021-0061>
- EMBER István (2023): Additív eljárással készült lineáris vágótöltetek működésének vizsgálata. *Hadmérnök*, 18(3), 5–17. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2023.3.1>
- GÁVAY György (2023): Logisztikai járművek alkatrészpótlása 3D nyomtatási technológia alkalmazásával. *Katonai Logisztika*, 33(3–4), 208–232. Online: <https://doi.org/10.30583/2023-3-4-208>
- GERHARD, Christoph (2018): *Optics Manufacturing: Components and Systems*. Boca Raton: CRC Press. Online: <https://doi.org/10.1201/9781351228367>
- 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>
- HEGEDŰS Ernő (2023): Szálerősítéses anyagok 3D-s nyomtatásának hadiipari alkalmazási lehetőségei 1. rész: UAV-k és könnyű járművek a haderőben és a katonai logisztikában. *Haditechnika*, 57(4), 62–66. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.57.4.12>
- HEGEDŰS Ernő – GYARMATI József – GÁVAY György (2022): Automata sebességváltóban alkalmazott kapcsolt bolygómművek – 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>
- HOGAN, Hank (2022): 3D Printing Creates New Optical Possibilities. *Photonics*, 2022. október. Online: www.photonics.com/Articles/3D_Printing_Creates_New_Optical_Possibilities/a68317
- HU, Yuan – HUO, Jiaqi – CHENG, Binpeng (2022): Design of a Hybrid Refractive/Diffractive Lens System for Broadband UV. *Sensors*, 23(1), 143. Online: <https://doi.org/10.3390/s23010143>
- KALSOOM, Umme – NESTERENKO, Pavel N. – PAULL, Brett (2016): Recent Developments in 3D Printable Composite Materials. *RSC Advances*, 6(65), 60355–71. Online: <https://doi.org/10.1039/C6RA11334F>
- KALTENBACH, Frank (2004): *Translucent Materials: Glass Plastics Metals*. Basel (Switzerland): Birkhäuser. Online: <https://doi.org/10.11129/detail.9783034614320>
- KOVÁCS Zoltán (2022): Robbantás oktatás a katonai Bsc képzésben. In *Fúrás-robantástechnika nemzetközi szimpózium*. Budapest: Magyar Robbantástechnikai Egyesület, 61–75. Online: <https://drive.google.com/file/d/1rz5SiZVwu5CaNyAnpK3XoFsjqq01D7UK/view?pli=1>
- LEE, Jian-Yuan – AN, Jia – CHUA, Chee Kai (2017): Fundamentals and Applications of 3D Printing for Novel Materials. *Applied Materials Today*, 7(június), 120–133. Online: <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2017.02.004>
- Optical Glass* [é. n.]. Edmund Optics. Online: www.edmundoptics.com/knowledge-center/application-notes/optics/optical-glass/
- Overview of Materials for Cyclo Olefin Polymer* [é. n.]. MatWeb. Online: www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=c47e16ad84a047798fc4d1f6172e48f7&n=1&ckck=1
- Protonix [é. n.]: Printoptix. Online: <https://printoptix.com/>
- RÁKOSI Sára et al. (2023): A 3D-nyomtatás biztonságtechnikai és környezetvédelmi aspektusai. *Műszaki Katonai Közlöny*, 33(1), 133–148. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2023.1.10>
- TOOMBS, Joseph et al. (2020): Volumetric Additive Manufacturing of Silica Glass with Microscale Computed Axial Lithography. *Deutsche Gesellschaft Für Angewandte Optik Proceedings*, 1(1), 1–42. Online: <https://arxiv.org/pdf/2110.01651>
- VÉGVÁRI Zsolt (2023): A 3D nyomtatás felhasználási lehetőségei a műveleti logisztikában. *Katonai Logisztika*, 31(1–2), 177–198. Online: <https://doi.org/10.30583/2023-1-2-177>

- WEBER, Marvin J. (2003): *Handbook of Optical Materials*. Laser and Optical Science and Technology Series. Boca Raton: CRC Press.
- ZENTAY Péter – HEGEDŰS Ernő – VÉGVÁRI Zsolt (2022): A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei 1. 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>
- ZUZA, Mikolas (2018): Everything about Nozzles with a Different Diameter. Original Prusa 3D Printers. Online: https://blog.prusa3d.com/everything-about-nozzles-with-a-different-diameter_8344/

Hózer Benjámín,¹ Pántya Péter²

A magyar tűzoltósági és légoltalmi légzésvédelmi eszközök történeti áttekintése a 19. és a 20. század fordulóján – 1. rész, a szűrőjellegűek

A Historical Overview of the Hungarian Fire Brigade and Civil Defense Breathing Apparatus at the Turn of the 19th and 20th Centuries – Part 1, the Filter-Type

A cikkben a szakmatörténet egy szeletének kutatása, a fellelt eredmények közzlése valósul meg a hazai légzésvédelem területén. A publikáció célja egy kevésbé kutatott, azonban a tűzoltósági, polgári védelmi terület számára hasznos történelmi háttér vizsgálata, összefoglalása és az eredmények széles körű megismertetése. A vizsgálat alá helyezett kör a légoltalom és a tűzoltóságok által a 19. századtól a 20. század első feléig alkalmazott, jellemzően magyarországi előfordulású légzésvédelmi megoldások. A kutatás elsősorban a korabeli irodalom áttekintésén alapul, ezekből gyűjtöttük össze a korszakra legjellemzőbb, releváns eszközöket. A cikk alapján láthatóvá válnak az adott korszakban Magyarország területén elérhető és a légoltalom, valamint a változatos tűzoltóságok szervezetei által alkalmazott különböző légzésvédelmi eszközök, megoldások. Tekintettel a téma terjedelmére és az egyes források, eszközök nagymértékű illusztrációs igényére, hasznosságára, háromrészes cikkben, az egyes eszközök működési elve szerinti bontásban dolgoztuk ki a témát. Az írásban megjelenő első részben a szűrőjellegű és frisslevegős-típusú, a második részben a tényleges szűrőtípusú, a harmadik részben az oxigénes légzésvédőket ismertetjük.

Kulcsszavak: légzésvédelem, munkavédelem, szakmatörténet, tűzoltóság, légoltalom

¹ Doktori hallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola, e-mail: Hozer.Benjamin@uni-nke.hu

² Egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Rendésettudományi Kar Katasztrófavédelmi Intézet Tűzvédelmi és Mentésirányítási Tanszék, e-mail: pantya.peter@uni-nke.hu

This article is a research of a slice of the history of the profession, and the results of the research in the field of respiratory protection in Hungary. The aim of this publication is to examine, summarise and disseminate the results of a less researched but useful historical background for the fire and civil protection field. The target group under investigation is the civil defence and fire brigades from the 19th century to the first half of the 20th century, which were typically used in Hungary. The research method is based primarily on the review of the professional literature of the period from which the most relevant devices of the period have been summarised. Based on the article, the different respiratory protection devices used by different fire brigades and civil defence corps in Hungary in the given period will become visible. Because of the high degree of illustration of the individual sources and devices, the topic is developed in a three-part article, broken down according to the operating principle of each device. In this first part the filter-type and fresh-air types are described, in the second part the actual filter-type, and in the third part the oxygen respirators.

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

Bevezetés

A hazai tűzoltósági, polgári védelmi múlt kutatásának meglehetősen szűkös a szakirodalma, jelen cikk ezt a hiátust szándékozza csökkenteni, az elérhető tűzoltószakmai múlt publikációs körét bővíteni.³ A vizsgált terület és időszak a légoltalom és a tűzoltóságok által a 19. századtól a 20. század első feléig alkalmazott, jellemzően magyarországi előfordulású légzésvédelmi megoldások. A kutatás a szűkösen elérhető korabeli irodalom elemzésén alapult a korszakra legjellemzőbb, releváns eszközöket érintően. A cikkben a légzésvédelmi témakörön belül a szűrőjellegű és frisslevegős-típusú légzésvédőket ismertetjük.

A tűzoltói és légoltalmi szakfeladatok ellátásában mindig is kritikus szerep hárult a munkavédelemre, ezen belül is a légzésvédelemre. A légzésvédelem célja kettős: megvédeni a munkavégzőt a mérgező vegyi komponensektől, valamint lecsökkent oxigénszint esetén az oxigénellátást biztosítani. A légzésvédelmi eszközök két fő csoportja így: a környezeti levegőtől függő, valamint attól független felszerelések.

A kezdeti időkben elsősorban a füst által jelentett hő légcsovet ingerlő hatása ellen próbáltak vizes ruhákkal védekezni. Később már a füst émelyítő hatását, azaz a szén-monoxid dezorientáltságot kiváltó tulajdonságát is felismerték. Ugyanakkor a 19. század végén megjelent eszközök (például szivacs, füstálarc) még csak elenyésző tényleges védelmi képességgel rendelkeztek. Az első valódi technológiai lépcsőt az első világháború jelentette, ahol már tényleges védelmet kellett szavatolni a frontvonalon harcolók számára (például gázálarc). A védekezés elsődleges módja ekkor a nyitott rendszerű, azon belül is a szűrőtípusú légzésvédők használata lett. Ezek a megoldások gyűrűztek be a tűzoltósági, légoltalmi területekre is.

³ Hesz 2020.

Mindenképp meg kell azonban említenünk Kőszeghi Mártony Károly találmányát, amelyet 1830-ban mutatott be, és amelyet a ma használt sűrített levegős légzőkészülékek ősiének tekinthetünk. Az eszköz szerkezeti felépítésében nagyban hasonlít a manapság is alkalmazott variánsokhoz, palackja azonban csak 20 atmoszféra (~20 bar) nyomásig volt biztonsággal feltölthető. A 6 literes palack mellett ez 120 liter levegőnek felelt meg. Irodalmi adatok alapján 20–30 percig lehetett üzemeltetni, és elsősorban mélyművelésű bányákba szánták.⁴



1. ábra: A Kőszeghi-féle „életmentő készülék” hordhelyzetben

Forrás: HADNAGY 2008

Történelmi bevezetés

A tűzoltóságok tekintetében a 19. század második felében és a 20. század első felében az eszközbeszerzés prioritását – tekintettel a mindenkori szűkös anyagi forrásokra – az alábbiak szerint állíthatjuk fel:

1. fecskendő és tartozékai: tömlők, sugárcsövek, pótalkatrészek stb.;
2. kéziszerszámok: balták, csáklyák, létrák stb.;
3. személyi védőfelszerelések: sisakok, mászóövek;
4. egyenruhák és szerelvényeik.

A légzésvédelmi eszközök a személyi védőfelszerelések csoportját erősítik. Fontos azonban megjegyeznünk, hogy a kor tűzoltói mentalitásában a védőfelszerelések viselése és beszerzése nem élvezett érdemi prioritást. A sisak viselését előírta az úgynevezett „fölszerelési utasítás”,⁵ valamint rangjelző funkciót is ellátott. A sisakon kívül azonban csak a mászóöv szolgálta a beavatkozók egyéni védelmét. Az önkéntesek csizmát általában otthonról vittek, ugyanakkor a korabeli fényképek tanúsága szerint leggyakrabban félcipőben látták el a szolgálatot. Szintén elenyésző volt azok száma, akik kesztyűt, netán szemüveget viseltek beavatkozás közben.

⁴ HADNAGY 2005.

⁵ *Szervezeti, egyenruházati, rangjelzési és fölszerelési szabályzat 1898.*

Ebből kifolyólag a légzésvédelem sem kapott érdemi figyelmet a korban, sem tűzoltói, sem munkavédelmi szempontból. Ezt a helyzetet egyedül az első világháború során általánosodott gázharc váltotta fel. Egyre több kutató kezdett foglalkozni mind a légzésvédelem lehetőségeivel, mind a már elszenvedett károk kezelésével. A légzésvédelem eszköztára jelentősen bővült, noha az érdemi elterjedésük a civil szférában még sokáig váratott magára.

Érdemes megjegyeznünk mindemellett, hogy a vizsgált korszak eszközbeszerzése jelentősen eltért mind a mai viszonyoktól, mind az akkori katonai beszerzéstől. Manapság általános elvárás, hogy mindennemű beszerzés pályázat és közbeszerzés útján történik. A hadseregnél az eszközbeszerzéseket átvevő bizottság ellenőrizte és rendszeresítette, majd kiosztotta az állomány számára. A tűzoltóságoknál azonban mindennemű eszközbeszerzés tisztán piaci alapon történt. Ha fizetett tűzoltóságról beszélünk, akkor a fenntartó előljáróság finanszírozta a beszerzést. Ha önkéntesről, akkor vagy közadakozásból, vagy a tagok saját vagyonából támogatták meg ugyanezt. A szűkös anyagi források ellenére azonban a kínálat bőségesnek tekinthető. Számos gyáros igen széles termékpalettát szavatolt. Szerepelt ezek közt magyar gyártású kínálatokkal rendelkező, mint például Mátrai Antal, valamint több olyan is, ami importból fedezte a megrendeléseket.

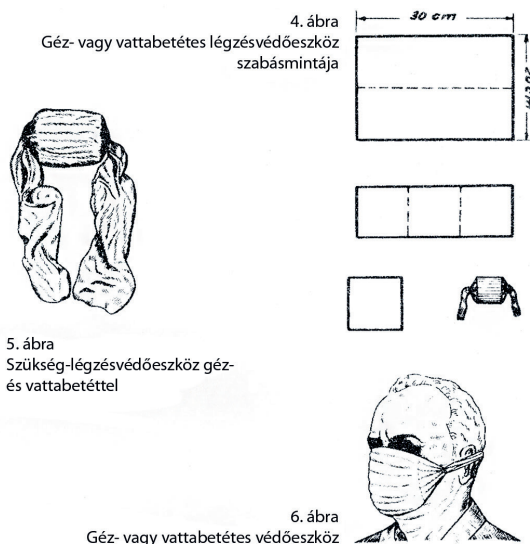
A következőkben olyan légzésvédelmi eszközöket mutatunk be, amelyek a magyar szakirodalomban, képes gyártói árjegyzékekben, a Katasztrófavédelem Központi Múzeum (KKM) gyűjteményében, illetve a korabeli állapotot szemléltető fényképeken előfordultak. Hangsúlyozzuk azt a tényt, hogy a bemutatott eszközök nagy része egységesen és nagy számban legfeljebb elvétve fordulhatott elő. Kivétel ez alól a második világháború légoltalmi készletezése. Továbbá meg kell még említenünk azt is, hogy a korabeli szakirodalmat is általában olyan személyek állították össze, akik valamilyen üzleti érdekkapcsolatban álltak egy-egy gyártóval, forgalmazóval. Igen ritkának tekinthető tehát, hogy elfogulatlan leírást találjunk a termékek bemutatása során pró és kontra. Ezért kritikus szemléletünket a gyakorlati megvalósítás lehetőségeit vizsgálva és a későbbi fejlesztésekből tanulva gyakoroljuk.

Az alábbi összeállítás szempontrendszerét aszerint állítottuk fel, hogy az egyes eszközcsoportok funkciójukban mennyire voltak képesek ellátni a feladatukat. A hevenyészett, házilag elkészíthető és ad hoc eszközöktől eljutunk a professzionális berendezésekig.

Szűrőjellegű légzésvédők

Mivel a korabeli szakirodalmak nem törekedtek minden esetben az új szakterminusok és gyűjtőelnevezések megalkotására, több esetben utólag hoztuk létre ezeket. Ilyen elnevezés a „szűrőjellegű légzésvédő” is, amely esetében a korabeli szakirodalmakban találkozhatunk még a „respirátor” kifejezéssel is. Ezt a kifejezést olyan eszközökre alkalmazhatjuk, amelyek teoretikai szinten próbáltak por- vagy részecskeszűrést megvalósítani, de azt nem tudományos, legfeljebb adhoc-alapon végezték, tekintettel arra a tényre, hogy szűrőképességük megvalósulását a gyártók nem igazolták semmilyen kísérlettel vagy mérőszámmal. Szűrőjellegűnek tekinthető az arc elé tett vizes ruha, valamint a közelmúlt Covid időszaka alatt megismert

„rongymaszk” is. 1971-ben a Polgári Védelem Országos Parancsnoksága egy külön füzetet is kiadott⁶ a ház körül előforduló anyagokból összeállítható légzésvédőkből, szabásmintákkal együtt. A 2–4. ábrákon ezeket szemléltetjük.



2. ábra: Gézből és vattából házilag összeállítható szükségálarc

Forrás: Honvédelmi ismeretek 1971



3. ábra: Géz–vatta eszköz tényleges alkalmazása

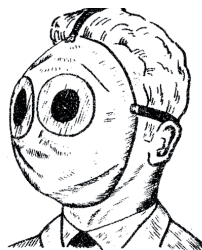
Forrás: PÁROS 1979, lásd: https://adt.arcanum.com/hu/view/Munkasor_1979/?pg=342&layout=s

⁶ Házilag elkészíthető légzésvédelmi eszközök 1970.

Az egyik házilag elkészíthető védőeszköz leírása szerint az elkészítéséhez a filckalap a legjobb alapanyag. A szemrészhez az átlátszó műanyag csomagolást ajánlották a 4. ábrán szemléltetett kialakítással.⁷



9. ábra
A filckalapból készült
védőeszköz (2. változat)



10. ábra
A filckalapból készült
védőeszköz használata

4. ábra: Filckalap házilagos átalakítása, ad hoc légzésvédő eszközzé

Forrás: Honvédelmi ismeretek 1971

Szivacs

Az elnevezés mögött megbújó eszköz valójában csak egy tengeri szivacs. Előírás szerint a szivacsot ecetes vízzel, esetleg mésztejjel meg kellett nedvesíteni, és egy, a szivacsra erősített gumiszalag segítette azt a száj, részint az orr előtt tartani. A tűzoltó mászóövön külön szivacsstartó táskát is előírtak a tárolására. Először a Magyar Országos Tűzoltó-Szövetség által 1898-ban kiadott *Szervezeti, egyenruházati, rangjelzési és főszerelési szabályzat* tesz róla említést, azonban 1907-ben már a következőképp írnak róla: „A füst ellen megvédenek a füstálarok, illetve a légzőkészülékek, amelyek 3 csoportba oszthatók: 1. Olyanok, amelyek a levegő megsűrűsítését célozzák, ezek legegyszerűbb alakja az ecetes vízbe mártott és az orr elé kötött szivacs. Ez azonban a gyakorlatban nem igen vált be.”⁸



5. ábra: A mászóövre fűzhető szivacs és táskája grafikus ábrázoláson

Forrás: Szervezeti, egyenruházati és főszerelési szabályzat 1898



6. ábra: Légzésvédelmi szivacs és táskája a KKM gyűjteményében

Forrás: Hózer Benjámín felvétele

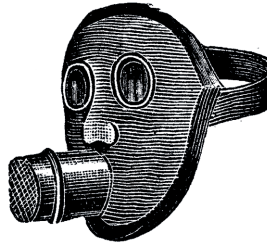
⁷ Honvédelmi Ismeretek 1971.

⁸ SZABÓ 1907.

Fél és teljes füstálarcok

A történelem során a fertőző kórságokkal szembeni elszigetelésre számos különböző álarc jelent meg a betegeket kezelőkön. Legismertebb képviselője ennek a 16. századi Európában megjelent pestisdoktorok madárfejre hasonlító „csőrös” maszkja. A csőrbe különböző gyógyfüveket helyeztek, amelyektől azt remélték, hogy viselésüktől nem terjed át rájuk a fertőzés. Bizonyított hatékonyságú légzésvédelmi alkalmazásról tehát itt még nem beszélhetünk.⁹

A szivacsokkal párhuzamosan – vagyis nem azok kiváltására – az 1880-as évektől megjelentek a bőrből és rézből készült, szűrőjellegű teljes és félálarcok. Noha ezek már professzionálisabb kivitelűnek tűntek kulcsín alapján, a tényleges szűrő/védő funkciójuk csekélynek tekinthető. Egyfelől a vastag és rugalmatlan bőrálarc illesztési problémái miatt, másfelől a szűrőbetétek anyaga okán. Mivel a gyártóknak nem voltak bevett anyagaik hasonló felhasználási körre, csak ad hoc jellegű megoldásokat használtak. Szűrő közegként bizonyosan alkalmaztak egyszerű vattát,¹⁰ illetve feltételezhető, hogy tengeri szivacsot is.



Füstálarc

7. ábra: Szűrőjellegű füstálarc, Mátrai Antal gyártmánya, 1920 körül

Forrás: SZABÓ 1907



8. ábra: Szűrőjellegű bőr-réz füstálarc, Köhler István gyártmánya, 1920 körül

Forrás: Zsikai Péter gyűjteménye

⁹ ELDRIDGE 2024.

¹⁰ *Tűzrendészet és Kárelhárítás II.* 1948.

Friss levegős légzésvédők

A friss levegős, más néven csöves légzők először a bűvárok felhasználásában jelentek meg. Működési elvük igen egyszerű: a tengerfenék és a vízfelszín fölötti levegővel adnak összeköttetést egy flexibilis, merev falú tömlő által. Az idő előrehaladtával a friss levegős légzők alkalmazása két irányba vált szét: szárazföldi és vízi felhasználásra.

Szárazföldi alkalmazásban a tűzoltói felhasználás vált dominánssá; ezek a bűvárverzióktól több szempontban is eltértek. A sisakok/fejedők fém helyett bőrből készültek, mivel a réz jelentősen áthevült volna az alkalmazás során. Emellett ruha és lábbeli sem tartozott hozzájuk, amivel össze kellett volna a fejedőt kapcsolni. A friss levegős légzőket további két nem hivatalos kategóriára bonthatjuk tovább: az egyszerűbb szívó – valamint a légbefúvásos kivitelűekre. Mind szárazföldi, mind vízi alkalmazásban létezett mindkét kivitel.¹¹

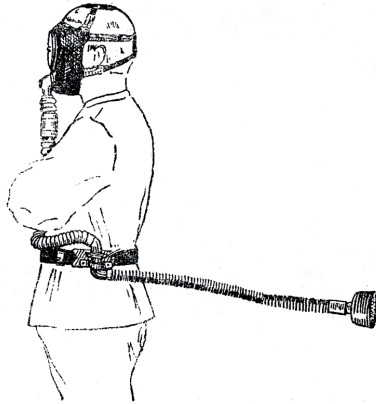
A friss levegős légzők előnye, hogy a minimális előképzettséggel rendelkező viselő is hatótás védelemben részesült, valamint a hosszú, többórás működési idő (például bányamentés esetén). Ugyanakkor hátrányuk maga a tömlő, amit a beavatkozó a földön húz végig, és kifele is csak ugyanazon az úton távozhat, amin befelé haladt. Ennek következtében a tömlő is kopik, a ráhulló törmelék el is zárhatja a levegő útját.

Szívó kivitelűek

A közönséges szívó rendszerű friss levegős légzők egyszerű kivitelben készültek: egy álarcból, valamint a tömlőből állt, amelynek a végét a füsttáron kívül kellett elhelyezni. Az alkalmazhatósága a viselő tűzoltó egyéni szívóerejére szűkölt. A rendszer kritikus eleme a tömlőszerelvényen alkalmazott kilégzőszelep. Enélkül a felhasználó a kilélegzett levegőt visszafújja a légtömlőbe, és csak az elhasznált levegőt forgatja a tűzoltó oda-vissza; úgynevezett ingalégzést végez. Későbbi modelleken a kilégzőszelep már az álarcra került. Az álarcokhoz gyártótól függően 15 vagy 20 méteres légtömlőt adtak. Egyes leírások szerint a 20 méteres tömlőn megerősítés nélkül lehet szívni a levegőt, míg egy második tömlő összekapcsolásával már jelentősebb erőbefektetést igényelt a friss levegő beszívása.¹² A tömlő végére egy porszűrő szelence is kerülhetett, ami még tovább nehezítette a légvételt, valamint ide gyakran erősítették egy leszűrő szeget is. A szeget a földbe vagy falba ütve lehetett a tömlő végét a füsttáron kívül tartani, hogy a tűzoltó haladás közben ne rántsa be azt a füsttel szennyezett területre.

¹¹ KÁLLAI 1910: 322.

¹² *Tűzoltófelszerelések* 1954.



9. ábra: A szívó kivitelű friss levegős légzőkészülék sematikus ábrája

Forrás: Tűzrendészet és Kárelhárítás II. 1948



10. ábra: A magyar Medicor Művek által üzemeltetett polgári védelem számára gyártott szívó típusú friss levegős légzőkészlet az 1980-as évekből

Forrás: Hózer Benjám felvétele

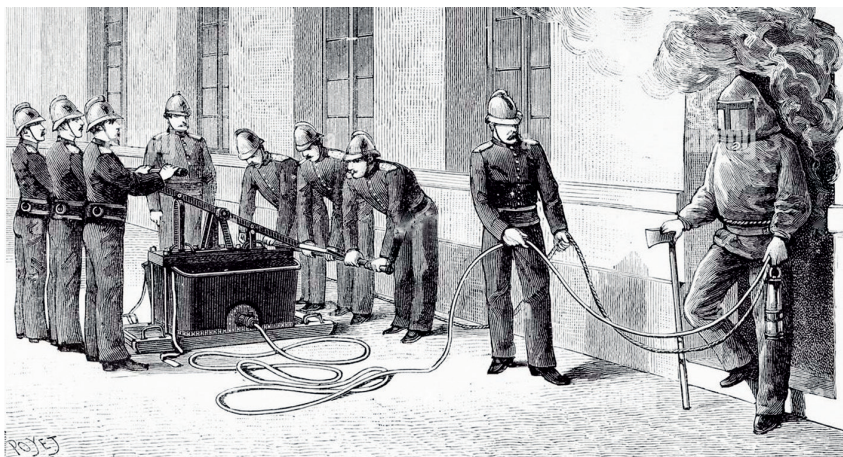
Légbefúvásos kivitelűek

A légbefúvásos vagy más néven „nyomásos” kivitelűek jelentős eltérést mutatnak az egyszerű szívó kivittel szemben. A légbefúvás esetén nem volt kiemelt szempont a tömítettség, mivel elve alapján a füsttáron kívül tartózkodók úgy kezelik a fűjtatót, hogy a fejtető alatt állandó túlnyomás képződik, ami a nyak vagy a fejtető irányába távozik, egyben hűtőhatással is van a viselőre.

Alkalmazhatósága ezzel a megoldással jelentősen megnőtt, akár 100–300 méterre is, tőpustól függően. Noha egyes leírások megemlítik, hogy 200 méter fölött már nem lehetséges az alkalmazás a levegő sűrűsödése okán. A kézi fűjtató mellett átszerelhető volt még a tömlő a fecskendőre is, ami a nagyobb dugattyúi miatt hosszabb tömlők alkalmazását is lehetővé

tette. Fecskendő helyett, nagy távolságon úgynevezett „oxigéninjektort” is lehetett alkalmazni, amely egy ipari oxigénpalack vagy kompresszor rácsatolását jelentette a légtömlőre. Az alkalmazott tömlőket minden esetben dobra felcsévélve szállították.

A korai változatok fejrésze még hasított szarvasbőrből készült és inkább hasonlított kámszára, mint sisakra. Ilyen például a Müller-féle füstburok.¹³ A szem részén üveg helyett sűrű szövésű drótháló kapott helyett. Későbbi változatokat, mint például a König-féle füstsisak, már több különböző alakú szemlencsével is meg lehetett vásárolni.¹⁴ A König-féle légző bőrsisak-alapra épült, és később szócsővel is ellátták. Német területeken megjelent a sisak tetején elhelyezett 360°-ban vizet kijuttatni képes önvédelmi vízsugár is. Ez utóbbi kombinált megoldás azonban nem terjedt el hazánkban.



11. ábra: Mozdonyfecskendőre csatlakoztatott Müller-féle füstburok. A viselő csípőjén biztonsági/jeladó kötélt, bal kezében Davy-lámpa

Forrás: La Nature 1887

A viselő és a befúvó közti kommunikációnak több megoldása is létezett. A klasszikus megoldás a kötéltrejek használata volt. A viselő derekára vagy mászóövére erősített kötélt rövid és hosszú rángatásával tudott jelzést adni a kint tartózkodóknak. Ez utóbbi elsősorban a bűváralkalmazás során terjedt el, mivel a bűvár nem tudott önerőből a víz felszínére emelkedni a lesúlyozás révén. A Müller-féle füstburok szájrészénél lévő síp a kötéltől hasonló rövid és hosszú sípjelkek adására volt alkalmas.

A König-féle füstsisakhoz opcionális szerelvényként megjelent a beszédmembrános szócső, amelyet egy Y elágazó szerelvényvel csatlakoztattak a légtömlőre. A membránt a száj elé téve beszélni, fülhöz tartva pedig hallgatni lehetett az „adást”. A szócsövet és a fújtatót ugyanaz a személy is kezelhette, eredményesen legfeljebb 50 méteres távolságig maradt használható. Az Y elemhez két sisak is csatlakoztatható és üzemeltethető egyszerre.

¹³ A *Bányászati és Kohászati Lapok* a füstburok helyett, a „füstlárvá” kifejezést alkalmazza.

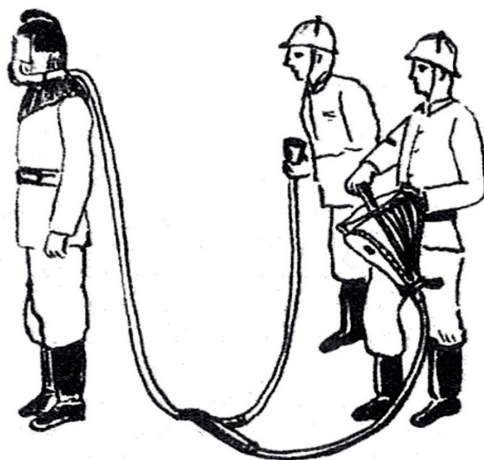
¹⁴ BRUNNER I. L. és Társa 1913.

A következő – egy gyakorlati bemutatót ábrázoló – fényképen a berlini tűzoltóság által átalakított König-sisak látható. A sisakhoz továbbhaladó sugárleágazást egy plusz szerelvény közbeiktatásával oldották meg a sugárzó mögött. A háttérben álló parancsnok a szócsövön keresztül irányítja a viselőt a mászóövére akasztott fújtatóval.



12. ábra: König-féle kombinált füstsisak

Forrás: HEGEMANN 2022



13. ábra: A König-féle füstsisak sablonos működése szócsöves változaton

Forrás: Tűzoltófelszerelések 1954



14. ábra: A König-féle füstsisak tényleges működése, telefonos kézibeszélővel és Y elemmel
Forrás: HEGEMANN 2022

Az 1910-es évektől már tényleges telefonkábelrel szerelt változat is elérhető volt a füstsisakhoz. A sisakba fejhallgatót és hagyományos vagy gégemikrofont szereltek, a tömlő végén pedig kézibeszélőn lehetett az adást hallgatni és válaszolni.

Cs. és kir. szabadalmazott

MÜLLER-féle füstkészülék

teljesen felszerelve darbonként 40 frt.

Alkalmazásban van: a budapesti és bécsi hivatalos tűzoltóságoknál; Crimtschau, Cölln a/d. Elbe szászországi városok, Lodz oroszországi város tűzoltóságánál stb.

A szabadalom tulajdonosa és gyártója:

O. NEUPERT utóda Bécsben.

Egyedüli raktár Magyarországon:

GEITNER és BAUSCH

Budapesten, Andrásy-út 8-ik szám.

15. ábra: A Müller-féle füstburok reklámja 1890-ből
Forrás: BREUER 1890

Ahhoz, hogy a mai környezetben is érthetőbb legyen az ismertett korszak: a 15. ábra 40 forintos vételára átszámítva ma több mint 230 000 forint lenne. A 16. ábrán bemutatjuk a König-féle füstsisak hirdetését 1913-ból; a megadott 100 korona jelenleg körülbelül 240 000 forintnak felel meg, azaz az alapmodell ára mintegy 550 000 forint. A füstsisak különböző változataiból több mint 6000 darabot értékesített a hamburgi gyártó:

König-féle füstvédő- és légzési készülék, König's Rauchschutz u. Atmungs-Apparat,

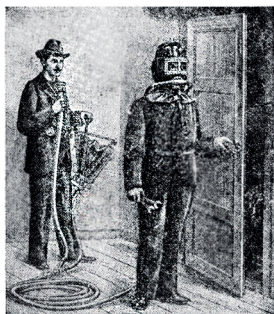


Fig. 842/I-III.

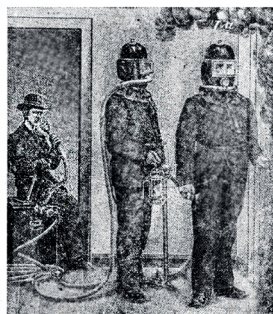


Fig. 842/IV

a legmegbízhatóbb biztonsági készülék füllett levegő, ammoniak-gőzök, mérgező gázok stb. ellen. Mindenemü vegyi gyárak, bányák, légszuszálalatók, sörfőzdek és vágóhidak részére, jégpuzemhoz, hűtőtelepek, jéggyárak, trággyárak, gázszilipéptételek, hajók stb. részére.

Fig. 842/I. **Teljes légzőkészülék.** Kettősen mikódó kétrésztű fúvóval és 12 mtr. rugyanta-esigatómlóval, kerek nézőfüvegekkel K 230.—

Fig. 842/II. **Ugyanazon készülék,** de nagy, négyzögletes nézőfüvegekkel K 245.— Minden további mtr. gummicső « 3.80

Fig. 842/III. **Ugyanazon készülék beszézőkészülékkel** és 15 mtr. gummi-esigatómlóval K 420.—

Ugyanaz távbeszéző nélkül « 300.—
Fig. 842/IV. **Teljes légzőkészülék** szekrényfúvóval, bányák, vegyszeti gyárak, alagutópitkozók stb. számára, két 1a számú sisakhoz való csatlakozással, mind-egyik sisak 15 mtr. esigatómlóval K 600.—

Ezen sisakok nem láthatók el távbeszélővel.

Ugyanaz két II. számú sisakkal, távbeszélő nélkül K 635.—

Ugyanaz távbeszélővel « 750.—

Minden további mtr. gummicső « 4.50

Lámpás, légvezetéssel, teljes ösze-
kötésővel és összekötő csavarral K 50.—

ist der zuverlässigste Sicherheits-Apparat gegen Stickluft, Ammoniak-Dämpfe, giftige Gase etc., für chemische Fabriken aller Art, Bergwerke, Gasanstalten, Brauereien und Schlachthöfe, Eismaschinen-Betrieb, Kühltürmen, Eisfabriken, Düngefabriken, Stelbanten, Schiffe etc.

Fig. 842/I. **Kompletter Atmungs-Apparat,** mit doppelwirkendem, zweifelhingigen Blaschatz und 12 M. Gummi-Spiralschlauch mit runden Schaugläsern K 230.—

Fig. 842/II. **Ders. Apparat** jedoch m. grossen viereckigen Schaugläsern K 245.— Jeder weitere Mtr. Schlauch ... « 3.80

Fig. 842/III. **Derselbe Apparat,** mit Sprechrichtung u. 15 M. Gummi-spiralschlauch K 420.—

Ders. ohne Sprechapparat « 300.—
Fig. 842/IV. **Kompletter Atmungs-Apparat** mit Kastenbläse für Bergwerke, Chemische Fabriken, Tunnelbauhen etc., mit Anschluss von 2 Helmen, Nr. 1a jeder mit 15 M. Luftschlauch K 600.—

Bei diesen Helmen ist eine Sprechrichtung nicht anzubringen.

Derselbe mit 2 Helmen Nr. II ohne Sprechrichtung K 635.—

Ders. mit Sprechrichtung K 750.—

Jeder weitere Mtr. Schlauch ... « 4.50

Laternen mit Luftzufuhr, komplett mit Verbindungsschlauch und Anschluss-Verschraubung K 50.—

16. ábra: König-féle füstsisak kétnyelvű hirdetése 1913-ból árjegyzékkel

Forrás: BRUNNER I. L. és Társa 1913

Jelenkori párhuzamok

Ad hoc jellegű légzészédelk alkalmazására elsősorban a 2020–2021-es Covid-járványidőszak adott példát, a széles körben elterjedt rongymaszok tekintetében. Hasonló eljárás jelenik még meg a lakosságvédelmi intézkedések közt az elzárkozás esetén is, ahol a lakó az ajtó alsó részét vizes ruhával szigeteli le, alacsonyabb szintű védelme – relatív biztonságérzete – növelése céljából.

Az iparban friss levegős légzők a homokfúvóknál és hegesztőknél terjedtek el és maradtak alkalmazásban a mai napig is. Emellett vegyi üzemeknél veszélyes gázokat tartalmazó tartályok tisztítása során, valamint egyes festési eljárásoknál szintén előfordulhatnak.

Összegzés

A fent bemutatottak alapján kijelenthető, hogy noha Magyarországon is voltak a századforduló környékén próbálkozások a légzésvédelmi eszközök fejlesztésére, ezek többnyire nem váltották be a hozzájuk fűzött reményeket. A szűrőjellegű védőeszközök az alacsony tényleges védelmi képességük miatt szorultak háttérbe, míg a friss levegős légzők a magas árak miatt váltak a legtöbb helyen elérhetetlenné. Friss levegős légzők emellett azonban a bányászatban és vegyiparban is felbukkantak. A fejlesztés irányvonalai két úton haladtak tovább. A nyitott rendszerű légzésvédőknél a tényleges védőképesség, az olcsó és könnyű beszerezhetőség, valamint az egyszerű kezelhetőség volt a primer cél, míg a zárt rendszerű légzésvédőknél a hosszú működési időt és magas mobilitást kellett tudni szavatolni. A nyitott rendszerű légzőknél a gázálcok fejlesztése lépett előtérbe, míg a zárt rendszerűeknél az oxigénes légzésvédők vonalán történt további fejlődés. A cikk második és harmadik részében ezeket mutatjuk be.

Felhasznált irodalom

- BREUER Szilárd (1890): *Tűzoltói Útmutatások – Községi hatóságok, Előljárók, Jegyzők s Tűzoltók számára*. [h. n.]: [k. n.].
- BRUNNER I. L. és Társa képes árjegyzéke (1913) [h. n.]: [k. n.].
- ELDRIDGE, Alison (2024): *Plague doctor*. Online: www.britannica.com/science/plague-doctor
- HADNAGY Imre József (2005): A légzőkészülék – azaz Kőszeghi Mártony Károly „életmentő készüléke” – a XIX. század elejének nagy magyar találmánya. *Tűzvédelem*, 11–12, 17–21. Online: www.vedelem.hu/letoltes/anyagok/626-a-legzokeszulek-azaz-koszeghi-martony-karoly-eletmen-to-keszulete-a-xix-szazad-elejenek-nagy-magyar-talalmanya.pdf
- Házilag elkészíthető légzésvédelmi eszközök* (1979). [h. n.]: Polgári Védelem Országos Parancsnokság.
- HEGEMANN, Jan-Erik (2022): Atemschutz: Wie alles begann. *Feuer Wehr*, 2022. április 29. Online: www.feuerwehrmagazin.de/wissen/atemschutz-wie-alles-begann-71933
- HESZ József (2020): A harangtól a számítógépig, avagy a tűzjelzés és riasztás története. *Belügyi Szemle*, 68(8), 51–66. Online: <https://doi.org/10.38146/BSZ.2020.8.3>
- Honvédelmi Ismeretek* (1971). Budapest: Tankönyvkiadó.
- KÁLLAI Géza (1910): Mentés és első segélynyújtás a bányászatban II. rész. *Bányászati és Kohászati Lapok*, 43(18), 321–351. Online: http://bkl.uni-miskolc.hu/1910_1/index.php
- La Nature (1887): *Cellar fire apparatus, diving suit allowing to visit a room filled with deleterious gases of the Paris fire brigade, France*. Online: <https://bit.ly/4djufuz>
- SZABÓ Gyula (1907): *Kis tűzrendészet*. Sopron: Sopronvármegyei Tűzoltó-szövetség.
- Szervezeti, egyenruházati, rangjelzési és folszerelési szabályzat* (1898). [h. n.]: Magyar Országos Tűzoltó-Szövetség.
- Tűzrendészet és Kárelhárítás II.* (1948). [h. n.]: Országos Tűzoltóparancsnokság.
- Tűzoltófelszerelések* (1954). [h. n.]: Belügyminisztérium Tűzrendészeti Parancsnokság.

Hegedűs Ernő,¹ Gávay György,² Sebők István,³ Tenczel Martin Bence⁴

Topológiai optimalizálás, generatív tervezés és a 3D-nyomtatás⁵

Az additív gyártástechnológia ipari alkalmazhatóságának vizsgálata

Topological Optimisation, Generative Design and 3D Printing Investigating the Industrial Applicability of Additive Manufacturing Technology

Az additív gyártástechnológia ipari alkalmazhatóságát jelentős mértékben befolyásolják az olyan innovatív tervezési módszerek, mint a topológiai optimalizálás és a generatív tervezés. A cikk e módszerek, illetve az ADAM⁶-technológiájú Markforged Metal X 3D-fémnyomtató képességeinek tükrében vizsgálja a konstrukciós lehetőségeket és korlátokat, helyenként kitekintve a gépjármű- és a repülőipar konkrét alkalmazási példáira is.

Kulcsszavak: topológiai optimalizálás, generatív tervezés, 3D-nyomtatás, Markforged Metal X fémnyomtató, ADAM-fémnyomtatás

¹ Adjunktus, Nemzeti Közsolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Haditechnikai Tanszék, e-mail: Hegedus.Erno@uni-nke.hu

² Adjunktus, Nemzeti Közsolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Haditechnikai Tanszék, e-mail: Gavay.Gyorgy@uni-nke.hu

³ Tanársegéd, Nemzeti Közsolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Haditechnikai Tanszék, e-mail: Sebok.Istvan@uni-nke.hu

⁴ Tisztjelölt, Magyar Honvédség Ludovika Zászlóalj, e-mail: btenczel0@gmail.com

⁵ A cikk a 2022-2.1.1-NL-2022-00012 azonosítószámú Kooperatív Technológiák Nemzeti Laboratóriuma projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a 2022-2.1.1-NL Nemzeti Laboratóriumok Létrehozása, Komplex Fejlesztése pályázati program finanszírozásában valósul meg.

⁶ Atomic Diffusion Additive Manufacturing, ADAM.

Innovative design methods such as topological optimisation and generative design have a significant impact on the industrial applicability of additive manufacturing. This paper explores the design opportunities and limitations in the light of these methods and the capabilities of the Markforged Metal X 3D metal printer with ADAM technology, with some examples of specific applications in the automotive and aerospace industries.

Keywords: *topological optimisation, generative design, 3D printing, Markforged Metal X metal printer, ADAM metal printing*

Bevezetés

A topológiai optimalizálás a 3D-nyomtatás gyártástechnológiai lehetőségeihez kötődően elterjedt gépészeti tervezési eszköz, amelynek alkalmazásával olyan térrácsszerű tartók és gépelemek hozhatók létre a 3D-modellezés során, amelyek a hagyományos gyártástechnológiával előállított tömör alkatrészekkel közel azonos szilárdság mellett kisebb szerkezeti tömegűek. A Markforged szakértői szerint „A topológia optimalizálásával anyag takarítható meg – ugyanolyan szilárdsággal.”⁷ Ez a lehetőség jelentős hatást gyakorol például a járműiparra – legyen szó akár hagyományos vagy elektromos gépjárművekről, vagy akár légi járművekről –, mivel „az energiahatékonyság egy fontos fogalom manapság a járműiparban. Az egyik legkézenfekvőbb megoldás az alkalmazott szerkezetek tömegének csökkentése, azonban ezt úgy kell megvalósítanunk, hogy a szerkezet szilárdsága és funkciója megmaradjon. A topológiai optimalizálás módszere pont ebben a helyzetben nyújt számunkra segítséget.”⁸ A topológiai optimalizáció során első lépésben a mérnök megtervezi az alkatrészt, megadott terhelésekkel, kényszerekkel. A szoftver ezután topológiai optimalizált hálómódellet készít.



1. kép: A topológiai optimalizált 3D-nyomtatott alkatrész változatai: az első hagyományos gyártástechnológiai módszerekkel, a további, optimalizált változatok additív gyártástechnológiával készíthetők el

Forrás: <http://hu.insta3dp.com/info/what-is-topology-optimization-simply-explai-79279655.html>

⁷ Markforged 3D Printers.

⁸ PUSZTAI 2021: 85.

A Nemzeti Közszolgálati Egyetem (NKE) Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar (HHK) Hadi-technikai Tanszék kutatói már több publikációban is foglalkoztak a topológiai optimalizált gépelemek tervezésének és gyártásának kérdéseivel.⁹

A hagyományos tervezési módszerek és gyártástechnológiák gyakran korlátozzák a tervezők kreativitását és hatékonyságát. Adott feladatokra optimalizált alkatrészek esetén akár több tucat iterációra is szükség lehet, míg egy termék elkészül. A generatív tervezés ezt a hiányosságot pótolja, és rendkívüli mértékben felgyorsíthatja a fejlesztési, tervezési folyamatot. Egyúttal olyan hatékony eszközkészletet biztosít, amely a 3D-nyomatásban rejlő teljes potenciált is képes kiaknázni.

A topológiai optimalizálás és az additív gyártástechnológia

A topológiai optimalizálás egy tervezési eljárás. Az optimalizált gépelem gyakorlati megvalósítása, legyártása azonban additív gyártástechnológia alkalmazását igényli. A topológiai optimalizálás a 3D-nyomatás alkalmazását feltételezi, mivel e folyamat során a tervezés eredménye gyakran rendkívül nagy hatékonyságú, de igen komplex forma (például: rácsszerkezet). Az ilyen összetett geometriák legyártása hagyományos módszerekkel bonyolult, lassú, rendkívül költséges, illetve adott esetben véges számú darabból összeillesztve is lehetetlen. Akár fröccsöntéssel, akár forgácsolással, a generatív tervezés során létrehozott topológiai optimalizált, nagy komplexitású geometriával rendelkező szerkezeteket, alkatrészeket létrehozni egyszerűen nem kifizetődő. Az olyan additív gyártási eljárás, mint a 3D-s nyomtatás jelenti a megoldást az ilyen komplex geometriák gyártásához.



2. kép: Topológiai optimalizált titántartó EOS¹⁰ nyomtatóval előállítva

Forrás: www.aeroexpo.online/prod/eos-gmbh-electro-optical-systems/product-169717-72644.html

⁹ VÉGVÁRI–ZENTAY–HEGEDŰS 2022: 56; FICSOR–HEGEDŰS 2023: 38.

¹⁰ Electro Optical Systems GmbH.

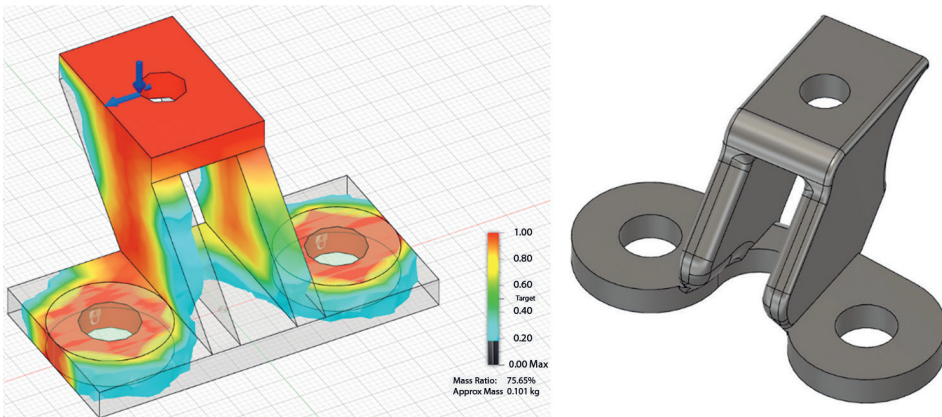
A topológiai optimalizálás egy gépelem optimalizálásának tervezési folyamata, amely általában a felhasznált alapanyag mennyiségének csökkentésével jár. A topológioptimalizálási módszerekből adódó összetett geometriák csak additív gyártási folyamattal állíthatók elő hatékonyan, mivel a hagyományos gyártástechnológiák nem tudják kihasználni az új eljárások által biztosított tervezési szabadságot, nem képesek a komplex geometriák előállítására. A 3D-nyomatás és a tervezői munkát megkönnyítő szoftverek együttes alkalmazásában rejlő lehetőségek jelentősek. Ugyanis a 3D-nyomatás lehetővé teszi optimálisabb formájú, ezáltal könnyebb és mindeközben azonos, vagy akár nagyobb szilárdságú alkatrészek tervezését. Alkalmazásával lehetségessé vált, hogy a termék formáját ne korlátozzák a hagyományos gyártástechnológiák.

Végelem-alapú topológiai-optimalizálási módszer feszültségelemzéssel, illetve fáradásellenállás-számítással, továbbá az Autodesk Fusion 360 3D-modellező szoftver és a topológiai optimalizálás

A geometria és a számítások az additív gyártás folyamatának tervezési fázisában összefüggnek a tervezési validálással. A tervezési validálás során a geometria kulcsfontosságú szempont. Ennek oka, hogy az additív gyártási folyamatok lehetővé teszik komplex geometriák létrehozását, amelyek hagyományos gyártási módszerekkel nehezen, vagy egyáltalán nem valósíthatók meg. A geometria optimalizálása során a tervezők kihasználhatják az additív eljárások előnyeit – például a tömegcsökkentés lehetőségét, belső szerkezetek kialakítását és más speciális geometriai tulajdonságokat. A topológiai optimalizálás (végelem-analízis) és a fáradási ellenállás számításai is összefüggnek a tervezési validálással és a geometriával. Ezek a számítások lehetővé teszik a tervezők számára, hogy feszültségelemzést végezzenek az alkatrész tervezése során. A számítások révén meghatározható, hogy az adott geometria és anyag milyen terheléseket képes elviselni anélkül, hogy meghibásodna. Ez lehetővé teszi a túlterhelés elkerülését, és megmutatja, hogy az alkatrész melyik részeire esik a terhelés, ezzel lehetséges a súlycsökkentés. Fáradási ellenállás szimulációjával vizsgálható és biztosítható, hogy hogyan viselkednek az anyagok hosszabb ideig tartó terhelés esetén.

A tervezési módszereknek két különböző kategóriája különböztethető meg: a tervezőmérnök által vezérelt és a folyamatvezérelt tervezés. A folyamat által vezérelt forma a tervezőmérnök, az ember manuális részvételének minimalizálását helyezi előtérbe a tervezési folyamat felgyorsítása és hatékonyságának növelése érdekében. Ezzel szemben a tervező által vezérelt forma olyan tervezőmérnököket foglal magában, akik aktívan alakítják a folyamatot, és a gyártással kapcsolatos szakértelmet nyújtanak a drága szériaalkatrészek gyártásának érdekében. Mindkét megközelítésben alapvető fontosságú az additív gyártás gyárthatósági szempontjainak figyelembevétele, a teljesítmény javítása és az alkatrészenkénti költségek közötti kényes egyensúly fenntartása a nagyüzemi gyártás során. A folyamatvezérelt forma módszere a topológiai optimalizálás formájában kihasználja az additív gyártás előnyeit, komplexitási képességét az alkatrész teljesítményének növelése érdekében. A topológiai

optimalizálás elsősorban a tervezés megkönnyítésére és a modell tömegének csökkentésére használt technika. A tervező meghatároz egy tervezési teret, és a topológiai optimalizáló szoftver eltávolítja a tervezési tér minden olyan részét, amely nem járul hozzá a termék szerkezeti integritásához. A topológiai optimalizálás ezt úgy éri el, hogy a végelem-analízis segítségével a tervezetet diszkrét darabokra bontja, poligonokra, csúcsokra és szélekre, amelyek hálót alkotnak, majd elemzi a hálóra ható erőket. Ennek a folyamatnak köszönhetően a felesleges anyagok eltávolításával organikus formák alakulnak ki.



3. kép: Tartókonzol feszültségvizsgálata megadott terhelések alapján, illetve a topológiai optimalizálással kikönnyített alkatrész a felesleges anyagok eltávolítását követően

Forrás: NKE HHK Haditechnikai Tanszék, a szerzők szerkesztése, Fusion 360

A topológiai optimalizáció során első lépésben a mérnök megtervezi az alkatrészt, megadott terhelésekkel, kényszerekkel.¹¹ A szoftver ezután topológiailag optimalizált hálómodellt készít. A topológiai optimalizálás képességével egyes CAD¹²-szoftverek rendszerint már eleve rendelkeznek, de sok esetben ezt a lehetőséget egy plusz szoftver vagy szoftvermodul által érhetjük csak el.

A véges elemes szimulációknál alkalmazott topológiai optimalizálás tulajdonképpen nem más, mint egy matematikai módszer, amely az adott peremfeltételek mellett ideális szerkezeti kialakítást tesz lehetővé. Peremfeltételek alatt azokat a terheléseket, megfogásokat és szimulációs korlátokat értjük, amiknek köszönhetően leírhatjuk a fizikai környezetet a szimulációs térben. A módszernek köszönhetően komplex formákat kaphatunk.

A topológia optimalizálásával kapcsolatos összes számítást speciális szoftveren keresztül futtatják, amely általában 3D FEA¹³ platformot igényel. Ezek az eszközök lehetnek önálló programok vagy CAD-be integrált modulok. A topológiai optimalizálás képesség egyik úttörője

¹¹ SAADLAOUI et al. 2017: 178.

¹² Computer-Aided Design, CAD.

¹³ Finite Element Analysis, FEA.

az Altair Opti Struct modul a Hyperworks számára. A topológiaoportimalizálás másik jelentős szereplője a Dassault Systèmes, amely több topológiaoportimalizálási modulért felelős, például a Tosca és az ATOM Abaqus. Néhány CAD-program, mint amilyen a Solidworks és a Creo, szimulációs moduljaikban már tartalmaznak beépített szerkezetoptimalizáló eszközöket.

A végeelemes módszer egy hatékony numerikus módszer, amelyet széles körben használnak mérnöki problémák megoldására. A topológiaoportimalizálás végeelem-elemzési szimulációkat használ annak felmérésére, hogy a gépelem mely részei nem döntő fontosságúak strukturális és teherviselési szempontból.¹⁴



4. kép: Az Airbus APWorks elektromos motorkerékpár topológiaoportimalizált 3D-s nyomtatott fémváza, amely mindössze 6 kg tömegű

Forrás: www.carbodydesign.com/gallery/2016/05/airbusunveils-3d-printed-motorcycle-with-bionic-design/4/

A felhasználó által bevitt külső erőhatások alapján szimulálja a gépelem feszültségeloszlását, ezzel meghatározható, hogy a gépelem mely részei vannak kevésbé kitéve belső feszültségeknek – így ezek potenciálisan eltávolíthatók. Az algoritmus folyamatosan értékeli a szerkezeti feszültségeloszlást az anyag eltávolítása során, hogy felmérje az ebből eredő további hatásokat. Ez számos diszkrét lépésből álló iteráción keresztül történik, amíg stabil geometriákat nem kapunk a korábban beállított terheléseknek és peremfeltételeknek megfelelően.

A topológiai optimalizáláshoz egy 3D-modellező szoftverben előállított előzetes testmodell szükséges. Az Autodesk Fusion 360 a 3D-nyomtatást alkalmazók által elterjedten használt 3D-modellező szoftver, amely beépített topológiai optimalizáló funkciókkal is rendelkezik. A topológiai optimalizálás a Fusion 360 Simulations menüpontjában végezhető el a szerkezeti anyag megadásával, a bekötési csomópontok kényszerek segítségével történő rögzítésével, illetve a ható erők megadásával, majd a Shape Optimization funkció aktiválásával.¹⁵

¹⁴ GÖNCZI 2021: 177.

¹⁵ Autodesk Sustainability Workshop 2017.

A topológiai optimalizálás szerkezetitömeg-csökkentő hatása és a repülőipari felhasználás

Minden hagyományos megmunkálással előállított mechanikus gépészeti alkatrész tömege nagyobb a szilárdságtani szempontból szükségesnél, hacsak nincs topológiai optimalizálva. A topológiai optimalizálás megoldja azt a mérnöki problémát, hogy hogyan lehet egy alkatrészt kellően erőssé tenni a legkevesebb anyag felhasználásával, ezáltal csökkentve a szerkezeti tömeget és a költségeket is. Alkalmazása a felhasznált alapanyag csökkentését és a gépelem szerkezeti tömegének csökkentését eredményezi. A könnyítés mértékét és jellegét a működés során az alkatrészt érő mechanikai igénybevételek alapján számítják ki. Számos ipari szektorban használják, de különösen a repülőgépiparban, ahol a tömegcsökkentés elengedhetetlen.



5. kép: Topológiai optimalizált tartó a repülőiparból

Forrás: www.3dsystems.com/aerospace-defense/lightweight-brackets

Az Airbus A380 lehajló orrbordáinak tervezési folyamata jól ismert a mérnökök körében, mivel ez volt a topológiai optimalizálás első jelentősebb alkalmazása. Ezt a szárny szerkezeti részt az Altairrel együttműködésben optimalizálták, és mintegy 500 kg tömegcsökkenést értek el repülőgépenként.¹⁶



6. kép: A topológiai optimalizált 3D-nyomatott Airbus-repülőalkatrész tömegét 50%-kal csökkentették

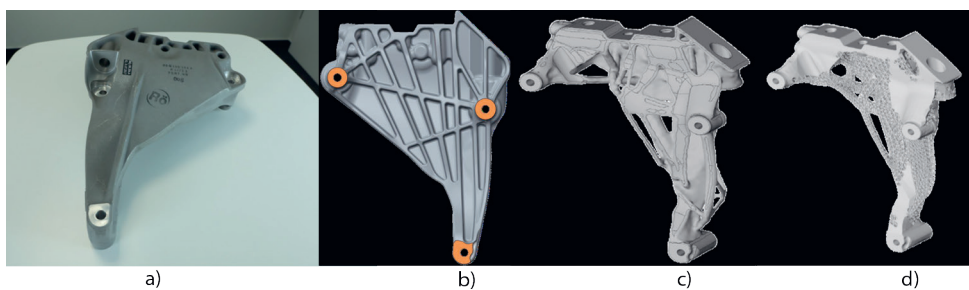
Forrás: BROOKE 2013

¹⁶ PUSZTAI 2021: 85.

A további repülőipari példák közé tartozik az Airbus A320 hajtóműgondola csuklópánttartója, amelynél 918 g-ról 326 g-ra, azaz mintegy 60%-kal csökkentették a tömeget.¹⁷

A topológiai optimalizálással tervezhető könnyített alkatrészek felhasználásának egyik fő gyakorlati korlátja: a fáradásos törés

A topológiai optimalizálás alkalmazásakor a szakirodalomban különféle gépelemekre 13–33% közötti reális tömegcsökkentési lehetőségre találhatunk példákat, az eredeti szilárdság jelentős csökkenése nélkül.¹⁸ A fő probléma azonban – összefüggésben a 3D-nyomtatott alkatrészek anyagának fáradásra mutatott kedvezőtlenebb tulajdonságaival – a fáradásos törésre való hajlam. Motortartó bak topológiai optimalizálását és 3D-nyomtatását EOS porágyas lézeres (Selective Laser Sintering, SLS) nyomtatóval végezték el az Audi Hungáriánál (7. kép). A szériaalkatrész többlépcsős geometria-optimalizálását, majd 3D-nyomtatását a Kísérleti Motorgyártó Központban végezték, előbb 33%-os (c), majd 39%-os (d) tömegcsökkenéssel.¹⁹



7. a, b, c, d kép: AlSi10Mg anyagú motortartó bak topológiai optimalizálása az Audinál: 33%-os (c), majd 39%-os (d) tömegcsökkenéssel

Forrás: NAGY 2023: 9–11.

Az eredeti alkatrész több mint 10 millió fárasztási ciklust viselt el repedés nélkül. A 33%-os tömegcsökkenésű alkatrész azonban már csak 6 545 132 ciklust viselt el repedés nélkül, míg a 39%-os tömegcsökkenésű már 258 867–358 049 ciklus után eltört. Mint látható, a 30–33%-os tömegcsökkentés léptékét nem célszerű meghaladni a fárasztó igénybevételnek kitett topológiai optimalizált 3D-nyomtatott fémtartó tervezése és gyártása során.

¹⁷ TOMLIN–MEYER 2011: 9.

¹⁸ SZABÓ 2021: 6.

¹⁹ NAGY 2023: 9–11.



8. kép: Eredeti, hagyományos technológiával tervezett és gyártott, illetve topológiai optimalizált Airbus tartó
 Forrás: <https://crossberrysolutions.com/topology-optimization-in-metal-3d-printing/>

A porozitási probléma az additív technológiák gyenge pontjának tekinthető, amely szinte mindegyik technológiánál előfordul, különböző méretekben, formában és eloszlásban. Jellemzően negatívan befolyásolja a gyártott alkatrészek mechanikai tulajdonságait, ami megnehezíti a folyamatok minősítését és a megbízható alkatrész-tulajdonságok elérését. A porozitás a nyomtatási folyamat során lép fel, amikor kis lyukak és üregek keletkeznek az alkatrészen belül. Ezek az apró, általában mikroszkopikus pórusok alacsony sűrűséget okozhatnak – minél több a pórusok száma, annál kisebb az alkatrész sűrűsége. A belső szerkezet gyengítésével befolyásolhatják az alkatrész mechanikai tulajdonságait is, és hajlamosá teszik a repedésekre vagy más sérülésekre, különösen nagy terhelés esetén.

A porozitás legtöbb esetben mechanikai problémákat okoz, de egyéb más elektromos, illetve kémiai hatása is lehet (például korrózió). A porozitás befolyásolhatja a statikus mechanikai tulajdonságokat azáltal, hogy csökkenti a határos teherhordó felületet. A pórusok repedésképző helyként is működhetnek, a legnagyobb pórusok gyakran a hiba kritikus helyei. A kifáradási tulajdonságokat viszont kifejezetten erősen befolyásolja a porozitás, és még a kis pórusok is repedések kiindulási helyei lehetnek fárasztó igénybevételnél. A porozitás alacsony kifáradási szilárdságot eredményez. Az ADAM-technológia – a kemencében végzett szinterezés anyaghomogenizáló hatása miatt – kedvezőbb porozitásmutatókkal rendelkező termék előállítását teszi lehetővé, mint a legelterjedtebb fémnyomtatási eljárások.²⁰ Emellett az alkatrészek anizotrópiája – a rétegek egymásra építéséből előálló rétegelkülönülés, amely a teherviselő képesség irányítottságát okozza – is kevésbé jellemző az ADAM-technológiára. Az anizotrópia abból adódik, hogy a rétegekkel párhuzamos irányban az alkatrész teherbírása eltér a rétegekre merőleges teherbírástól. Ez leginkább a húzó igénybevételnél jelentkezik.

Megállapítható, hogy a gyakorlatban mintegy 30–33%-os tömegcsökkentés érhető el topológiai optimalizált geometriájú 3D-nyomtatott fémtartó tervezése és gyártása során – aminek egyik fő korlátja a fáradásos törés. A tömegcsökkentés szempontjából – például a repülőipar szempontrendszerét figyelembe véve – vizsgálva a tervezési folyamatokat megjegyzendő, hogy az ADAM-technológiájú fémnyomtatás alkalmazásával, zárt belső cellák, különféle kitöltések (például giroid) alkalmazásával úgy érhető el általános 20%

²⁰ ABDEL-AAL 2021: 388.

tömegcsökkenés, hogy a szilárdság mindössze 10–15%-kal csökken.²¹ Elméletileg a topológiailag optimalizált geometria és az ADAM-technológiával gyártható zárt belső cellás, kitöltéses szerkezet ugyanazon alkatrészen is megvalósítható. Ehhez kapcsolódóan – a fenti fáradásos jellemzők és porozitási problémák tükrében – az alábbi kutatási kérdések fogalmazhatók meg, figyelembe véve a Markforged Metal X ADAM-technológiájú fémnyomtató technológiai képességeit (SLS-hez viszonyítva: költséghatékonyság, zárt belső cellák lehetősége, kisebb porozitás, kevesebb hőfeszültség):²²

- Összehetető-e az SLS-technológiájú alkatrész tömegcsökkenése és fáradásos tulajdonsága egy Markforged Metal X fémnyomtatóval előállított, topológiailag optimalizált és ezáltal könnyített alkatrész fáradási tulajdonságával?
- A topológiai optimalizálás az ADAM-technológia esetében is hasonló tömegcsökkentésre képes, vagy ez még tovább fokozható zárt belső cellák, például giroidkitöltés alkalmazásával?
- Utóbbi esetben hogyan alakulnak az immár üreges alkatrész fáradásos tulajdonságai?

A generatív tervezés és az additív gyártástechnológia, kitekintéssel a repülőipari felhasználásra

A 3D-nyomtatási technológia által kínált előnyök teljes kihasználását nehezítik a szokványos tervezőprogramok korlátjai. Megoldást a generatív tervezési módszer kínál.

Ez idáig leginkább csak a topológiai optimalizálás állt a mérnökök segítségére, ha egy tervezett tárgy esetében a legkisebb fajlagos szerkezeti tömeg elérése volt a cél. A generatív tervezés létrejöttével ez a folyamat megváltozott. A végeredmény kívánt fix pontjait, a gyártástechnológiát, valamint a szükséges erőhatásoknak való ellenállást meghatározva már a szoftver számolja ki az általa optimálisnak vélt összetett alakokat, amelyekből a mérnököknek csak ki kell választani a számunkra leginkább megfelelőt.

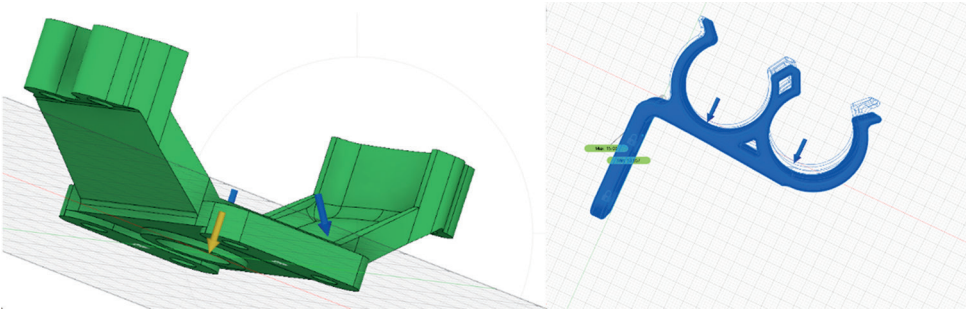
A generatív tervezés a gépészeti tervezés egy olyan formája, amely tervezési lehetőségeket generál, vagy optimalizál egy meglévő tervet a felhasználó által meghatározott kritériumok teljesítése érdekében.²³ A tervezők a szoftverben határozzák meg az alkatrészre vonatkozó korlátozásokat és célkitűzéseket. A szoftver ezután egy, az algoritmus által meghatározott alapértelmezett alkatrészre tesz javaslatot. A javasolt lehetőség tovább optimalizálható, paraméterezhető például a tömeg vagy a merevség szempontjából. Ily módon a generatív tervezés jelentős hatást gyakorol a tervezési folyamatra, hiszen annak egy jelentős részét a generatív tervezőszoftver már végrehajtja, időt takarítva meg a tervezőknek. A folyamat végén a tervezők feladata a különböző tervezési lehetőségek áttekintése és az alkalmazásukhoz legjobban illeszkedő lehetőség kiválasztása. A mesterséges intelligencia, azon belül is a gépi tanulás lehetőségeit kiaknázva a generatív tervezés lehetővé teszi, hogy a tervezők

²¹ JAGTAP–KAKANDIKAR–JAWADE 2022: 583.

²² SÆTERBØ–SOLVANG 2023: 113.

²³ TÓTH–ANDÓ 2020: 61.

különböző lehetséges megoldásokat hozzanak létre egy adott feladatra. A generatív tervezés automatizált tervezési folyamatában a gépi tanulás algoritmusainak segítségével, előre meghatározott kritériumok szerint innovatív, adott feladatra, alapanyagra és gyártástechnológiára optimalizált terveket hoznak létre. A terveket az algoritmus készíti el a megadott paraméterek alapján, majd a szoftver optimalizálja és összegzi az eredményeket. A generatív tervezésnek és az additív gyártástechnológiáknak együttesen köszönhetően a tervezők sokkal nagyobb szabadságot élvezhetnek egy-egy gépelem létrehozása során.



9. kép: Gépjárműalkatrészek tervezési folyamata 3D-nyomatást megelőzően. Balra: a generatív tervezés kiinduló fázi- sa az erők és megfogatások felvételét követően. Jobbra: tartókonzol deformációjának vizsgálata megadott terhelések alapján

Forrás: NKE HHK Haditechnikai Tanszék, a szerzők szerkesztése, Fusion 360

Az additív gyártástechnológia a legtöbb esetben kedvezőbb a felhasznált alapanyag mennyiségének szempontjából. A generatív tervezés segítségével az anyagokat már eleve optimálisan felhasználó tervek készíthetők, ami csökkentheti egyfelől az alapanyag-felhasználást, másfelől a gyártás során keletkező hulladékokat.

Például a repülőgépgyártásban olyan alkatrészekre van szükség, amelyek könnyűek, tartósak és teljesítményre optimalizáltak. A generatív tervezőeszközökkel olyan összetett geometriák és szerkezetek hozhatók létre, amelyek aerodinamikusak, költséghatékonyak. A szakirodalom rámutat a generatív tervezés és az additív gyártás összefüggésére, egymásra gyakorolt szinergikus hatására:

„A generatív tervezés során a mesterséges intelligenciára épülő szoftverek alkalmazásával lehetővé válik, hogy akár több ezer tervváltozatot hozzunk létre egy tervezési feladat megoldása során az alapvető paraméterek (pl. terhelés, szilárdság, méret, anyag) megadásával. Az additív gyártás lehetőséget ad összetett generatív tervezésű testek nyomtatására.”²⁴

Az Autodesk vállalat számos lépést tett már a generatív tervezés fejlesztése érdekében: a cég Generative Design platformja beépült a felhőalapú Fusion 360 Ultimate termékfejlesztő szoftverébe. A platform lehetővé teszi a mérnökök számára olyan tervezési paraméterek meghatározását, mint az anyag, méret, súly, szilárdság, gyártási módszerek és költségkorlátok.

²⁴ DARUKA et al. 2024: 34.

A szoftver AI-alapú algoritmusokat használ, amelyek segítenek kiszűrni az érvényes, valid terveket a tervezési lehetőségek közül. A szoftver a gyárthatóságot is figyelembe veszi, így a tervezők akár tíz különböző adalékanyagot is kiválaszthatnak a tervezés tanulmányozásához. A General Motors az Autodesk generatív tervezőszoftver segítségével vizsgálja a generatív tervezés és a 3D-nyomatás lehetőségeit jövőbeli termékeihez.

A repülő- (és UAV-) ipar az, ami a leginkább érdekelt a generatív tervezés és a 3D-nyomatás kombinációjából adódó szerkezetitömeg-csökkenésben. Egy konkrét példaként említhető: a General Electric gázturbinás hajtóművekben alkalmazott alumínium-szilícium-magnézium ötvözetű tartók tömege a konvencionális tervezési és gyártási módszerekhez képest mintegy 40%-kal csökkenthető generatív tervezés és 3D-nyomatás együttes alkalmazásával.²⁵ Különösen a repülőiparban – amint arra egy UAV sárkányszerkezeti tervezése során kidolgozott példa és tanulmány is rámutat:

„egyre kisebb tömegű és térfogatú alkatrészekre van szükség a megfelelő szilárdsági tulajdonságok megtartása vagy javítása mellett. Ezekre a generatív tervezés kínál megoldást. A technológiával több külön részegységből álló összeállításokat egy alkatrészévé lehet összevonni. Gyakran az így megtervezett alkatrészeknek kedvezőbb szilárdsági tulajdonságaik vannak, mint a több részegységből álló összeállításoknak. A kisebb tömeg kevesebb anyagfelhasználást jelent és a járművekben hatékonyabb.”²⁶

Összességében: az additív gyártás lehetőséget biztosít komplex, generatív tervezésű, 3D-nyomatásra tervezett testek előállítására.²⁷

Összegzés és következtetések

Összességében a generatív tervezés és a topológiai optimalizáció kapcsolatban áll a 3D-s nyomtatással. A generatív tervezés egyes geometriáknál lényegében igényli is a 3D-s nyomtatás alkalmazását. Ugyanis a generatív tervezés eredménye gyakran rendkívül nagy hatékony-ságú, de igen komplex forma (például organikus rácsszerkezet). Az ilyen összetett geometriák legyártása hagyományos módszerekkel bonyolult, lassú, rendkívül költséges, illetve adott esetben véges számú darabból összeillesztve is lehetetlen. A generatív tervezés során létrehozott topológiai optimalizált, nagy komplexitású geometriával rendelkező szerkezeteket, alkatrészeket hagyományos megmunkálással létrehozni egyszerűen nem kifizetődő. Az olyan additív gyártási eljárás, mint a 3D-s nyomtatás jelenti a megoldást az ilyen komplex geometriák gyártásához. A generatív tervezés jellemzően CAD-végeselem-alapon realizálódik, amely a CAD-tervezés fejlődésével – a várakozások szerint – a közeljövőben széles körben teret nyer, részben a mesterséges intelligenciában rejlő lehetőségeket kihasználva. A generatív tervezés

²⁵ DUGHMI–KÁTAI 2022: 10.

²⁶ SEREGI–FICZERE–BORBÁS 2021: 74.

²⁷ MARKOVITS–ERŐSS–FENDRIK 2023: 45.

során az általunk megadott paraméterek és peremfeltételek alapján a szoftver több lehetséges megoldást hoz létre egy termékre vonatkozóan.

Összességében a tanulmányban ismertetett topológiai optimalizálás és generatív tervezés jelentős lehetőségeket rejt magában a szerkezeti elemek fajlagos tömegcsökkentése területén a 3D-nyomatott fém alkatrészek esetében. Alkalmazásával lehetővé válik:

- egyes alkatrészek fajlagos tömegének csökkentése,
- a gyártási költség leszorítása.

E lehetőségek egyik legjelentősebb korlátja a porozitás és a fáradásos jelenségek. A tanulmányban ismertetett fáradásos jellemzők tükrében a Markforged Metal X ADAM-technológiájú fémnyomató technológiai képességeit figyelembe véve az alábbi kutatási kérdések fogalmazhatók meg: alkalmazható-e egyes konstrukcióknál együttesen a topológiai optimalizált rácsszerkezet, és a Markforged Metal X fémnyomatóval előállítható-e például giroidkitöltés, és ennek milyenek a fáradásos tulajdonságai, illetve milyen mértékű tömegcsökkenés érhető el? A kérdések pontos és részletes megválaszolása további kutatásokat igényel.

Felhasznált irodalom

- ABDEL-AAL, Hisham A. (2021): *Additive Manufacturing of Metals: Fundamentals and Testing of 3D and 4D Printing*. Toronto: McGrawHill.
- Autodesk Sustainability Workshop [@AutodeskEcoWorkshop] (2017): Topology Optimization in Autodesk Fusion 360. *YouTube*, 2017. április 12. Online: www.youtube.com/watch?v=lyTUL-zvHhXw&ab_channel=AutodeskSustainabilityWorkshop
- BROOKE, Rose (2013): Additive Manufacturing 'Can Lower Aircraft Building and Operating Costs'. *TCT*, 2013. október 29. Online: www.tctmagazine.com/additive-manufacturing-3d-printing-news/additive-manufacturing-can-lower-aircraft-building-and-oper/
- DARUKA Norbert et al. (2024): 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>
- DUGHMI, Ahmad – KÁTAI László (2022): A generatív tervezés módszerének áttekintése. *A Gép*, 73(3–4), 5–10. Online: https://epa.oszk.hu/03300/03334/00058/pdf/EPA03334_gep_2022_3-4_005-010.pdf
- FICSOR Botond – HEGEDŰS Ernő (2023): A 3D fémnyomatás alkalmazhatóságának vizsgálata MALE-kategóriájú UAV-dízelmotor fejlesztésre. 3D nyomtatással gazdaságosan gyártható könnyített szerkezetű alkatrészek és részegységek a repülő szakterületen. *Katonai Logisztika*, 31(1–2), 38–72. Online: <https://doi.org/10.30583/2023-1-2-038>
- GÖNCZI Dávid (2021): Topológiai optimalizálási feladatok alapvető sajátosságai Abaqus végelemes programrendszerben. *Multidiszciplináris Tudományok*, 11(4), 177–187. Online: <https://doi.org/10.35925/j.multi.2021.4.22>
- JAGTAP, Balaji M. – KAKANDIKAR, Ganesh M. – JAWADE, Samidha A. (2022): Mechanical Behavior of Inconel 625 and 17-4 PH Stainless Steel Processed by Atomic Diffusion Additive Manufacturing. In DAVE, Harshit K. – DIXIT, Uday Shanker – NEDELUCU, Dumitru (szerk.): *Recent Advances in Manufacturing Processes and Systems*. [H. n.]: Springer Nature Singapore, 583–594. Online: https://doi.org/10.1007/978-981-16-7787-8_47
- Markforged 3D Printers. Online: www.mark3d.com/en/buy-markforged-3d-printers/

- MARKOVITS, Tamás – ERŐSS, László Dániel – FENDRIK, Ármin (2023): Analysing The Generative Design of Payload Part for the 3D Metal Printing. *Communications – Scientific Letters of the University of Zilina*, 25(1), 45–51. Online: <https://doi.org/10.26552/com.C.2023.010>
- NAGY Tibor (2023): 3D nyomtatás az Audi Hungaria szolgálatában. Next 3D – additív gyártástechnológia konferencia. Budapest, 2023. szeptember 12., 12. dia.
- PUSZTAI Zoltán (2021): Topológiai optimalizálás alkalmazása autonóm energiahatékony jármű motor-tartó adapterén. Autonóm Járművek. Workshop-sorozat. Konferenciakiadvány. Győr: Széchenyi István Egyetem, 85–91.
- SAADLAOUI, Y. et al. (2017): Topology Optimization and Additive Manufacturing: Comparison of Conception Methods Using Industrial Codes. *Journal of Manufacturing Systems*, 43(1), 178–186. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2017.03.006>
- SÆTERBØ, Mathias – SOLVANG, Wei Deng (2023): Evaluating the Cost Competitiveness of Metal Additive Manufacturing – A Case Study with Metal Material Extrusion. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 45, 113–124. Online: <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2023.06.005>
- SEREGI Bálint Leon – FICZERE Péter – BORBÁS Lajos (2021): Drón vázszerkezet létrehozása generatív tervezéssel. *Acta Periodica*, 23, 72–80. Online: <https://doi.org/10.47273/AP.2021.23.72-80>
- SZABÓ Kristóf (2021): Topológiai módszerek alkalmazása. *Multidiszciplináris Tudományok: A Miskolci Egyetem Közleménye*, 11(4), 218–226. Online: <https://doi.org/10.35925/j.multi.2021.4.26>
- Titanium 3D printing powder – EOS GmbH Electro Optical Systems – corrosion-resistant/DMLS/for the aerospace industry. Online: www.directindustry.com/prod/eos-gmbh-electro-optical-systems/product-5078-2528687.html
- TOMLIN, Matthew – MEYER, Jonathan (2011): Topology Optimization of an Additive Layer Manufactured (ALM) Aerospace Part. The 7th Altair CAE Technology Conference, 1–9. Online: www.pfonline.com/cdn/cms/uploadedfiles/topology-optimization-of-an-additive-layer-manufactured-aerospace-part.pdf
- TÓTH Balázs – ANDÓ Mátyás (2020): Generatív tervezés kombinálása 3D nyomtatással. *Mérnöki és Informatikai Megoldások*, 7(1), 61–68. Online: <https://doi.org/10.37775/EIS.2020.1.9>
- VÉGVÁRI Zsolt – ZENTAY Péter – HEGEDŰS Ernő (2022): A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei 1. rész. *Haditechnika*, 56(6), 56–61. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.56.6.09>

Emese Kutassy¹ 

Comparison of UAV Orthophoto and Ground Survey at a Flood Protection Embankment

In the study, I compare the elevation data of points obtained from an orthophoto taken from a drone with the heights of points measured from the area by ground survey procedure and measuring station. I examine the usability of the points determined from the orthophoto for flood protection and for assessing flood protection embankments. I present the difficulties of assessing floodplains. The taking of orthophotographs and the data obtained from them may be important in determining the conditions after the floods have subsided and in detecting sediment deposition. My aim is to examine to what extent orthophotographs can be used to determine embankment heights in case of flooding, in order to avoid water overtopping of protective embankments.

Keywords: *flood, orthophoto, embankment height test*

Introduction

Hungary's geographical and hydrographical characteristics make it one of the most vulnerable European countries to flooding. Since the turn of the millennium, our rivers have experienced the highest flood levels, which has posed a major challenge for the country and its water services. As a direct consequence of climate change, hydrological hazards have become more extreme and less predictable, and more emphasis needs to be placed on preparedness.

In the context of increased risks, protection activities, emergency efforts and traditional preparedness, methods are placing a significant burden on the budget. It is therefore necessary to improve forecasting systems and increase the priority given to adaptive, preventive solutions. Flood protection is aimed at maintaining and improving state-owned protection works and carrying out protection tasks. Organised flood protection includes the technical tasks of protection. Such tasks include raising or relocating flood protection embankments to

¹ Engineering teacher, Ludovika University of Public Service, Faculty of Water Sciences, e-mail: Kutassy.Emese@uni-nke.hu

increase and improve the drainage capacity of the floodplains, embankment regulation and control, bank protection, maintenance of river control works, etc.²

Modern tools of the modern age can be used to perform these tasks. Such tools include unmanned aerial vehicles (UAVs), commonly known as drones. In flood protection, drones can be used in a variety of ways, for information gathering, damage assessment, supporting rescue operations. Drones can be used to quickly and efficiently assess the areas affected by flooding and the damage caused, helping the authorities to assess the situation and take appropriate measures, as well as to plan recovery efforts efficiently.

Drones can provide a live view of the scene, which can help coordinate protection efforts and can also be used during rescue operations.

UAV usage control

It is important to note that the use of drones is subject to strict rules, and the licences and qualifications required to use them are set out in legislation.

Domestic legislation has been created in accordance with legislation of the European Union. The Hungarian legislation implementing Commission Delegated Regulation (EU) 2019/945 on unmanned aircraft systems and third-country operators of unmanned aircraft systems³ and Commission Implementing Regulation (EU) 2019/947 on rules and procedures for unmanned aircraft operations:⁴

- Act CLXXIX of 2020 amending certain acts related to the operation of unmanned aircraft.⁵
- Government Decree No. 38/2021 (II. 2.) on the flight of unmanned state aircraft.⁶
- These regulations set out the requirements for flying drones, such as maximum altitudes, permitted areas and airworthiness requirements. Drone pilot training is required to fly drones. Upon successful completion of the exam, a certificate of competence will be issued to certify the qualification. When using a drone, liability insurance is also required to protect third parties and the owner, and registration as an operator of an unmanned aircraft system is also required.⁷

Aerial photography and orthophotography

An unmanned aircraft can "only" fly by itself. To be used in surveys, it is fitted with some kind of sensor. In this case, it is a camera to take aerial photographs, which can then be used to produce orthophotos that can be used for measurements.

² Országos Vízügyi Főigazgatóság 2023.

³ Commission Delegated Regulation (EU) 2019/945.

⁴ Commission Implementing Regulation (EU) 2019/947.

⁵ Act CLXXIX of 2020.

⁶ Government Decree 38/2021 (II. 2.).

⁷ Légtér [s. a.].

Orthophotos are aerial photographs taken without the perspective and topographical distortions inherent in photography. Orthorectification allows aerial photographs to be free of distortions caused by photography, so that they are accurately positioned in geographic space. Orthophotographs can be used to make accurate measurements, because they show a perpendicular (orthogonal) projection of the earth's surface. These are excellent for mapping and surveying, because they represent the area without geometric distortions. The images themselves (which can be hundreds or thousands of images) can be stitched together in a suitable software to form orthoimagery.⁸

Photogrammetry is the discipline of measuring on photographs, which deals with the taking of photographs for measurement or data acquisition purposes and their possible processing. In photogrammetric evaluations, the relationship between overlapping images and the terrain is established by orienting the image pair using an internal or external orientation. The overlap between pairs of images is necessary because the overlapping areas are used to produce the spatial model⁹ (during flight, many images are taken, and the images are built up from blocks or series of images). In order to perform the evaluation, at least 60% overlap between the image sequences is required, so that objects on the ground can be found in at least two images.¹⁰ Photogrammetric evaluation is best used in locations where there is a clear view of the object or area, as this provides additional information for processing metric data. The advantages of photogrammetry are that the area to be surveyed does not need to be approached, the field work, the measurement time is relatively short, the measurement/observation of rapid phenomena is suitable, the resulting images contain significant quantitative and qualitative data and, last but not least, the evaluation of the data can be performed quickly and in an automated way.¹¹ In other words, we "bring the field" into the office.

Photogrammetry can be used to determine the position and size of the area surveyed and photographed. This discipline is mainly used for topographic surveys, but can also be used for other tasks.¹²

With the development of technology, photogrammetry is in its heyday, as both the cameras and the flying instruments that carry them and the software that processes them offer a wealth of possibilities. Before starting aerial photography with a drone, a flight plan of the area to be surveyed must be drawn up to determine, among other things, the flight altitude, the overlap of images within and between lines, the interval between shots, etc. There are simple correlations among them. Nowadays, various programs are used to calculate these and to produce a flight plan.

The photogrammetric evaluation depends to a large extent on the geodetic preparation. Using this procedure, control points are defined for the orthomosaics before the flight. These points should be positioned so that they can be easily identified in the images when referencing. An aerial triangulation shall be performed using the photogrammetry and geodetic

⁸ See: <https://lechnerkozpont.hu/oldal/ortofotok-es-legifelvetelek>

⁹ ENGLER 2008a: 16.

¹⁰ ENGLER 2008b: 11.

¹¹ KRAUTER 2008: 3.

¹² ENGLER 2010: 1.

control points in a consistent manner. Without control points, only simple geodetic point determination could be performed.¹³

Depending on the air triangulation you are working with, you choose the number of alignment points. This depends on whether you are performing array or row triangulation or point densification within a model. For this procedure, the main criterion is to have enough points for absolute orientation, which means a minimum of 5 points, comprising 2 horizontal and 3 vertical control points. Less than this is not allowed, but more is possible.¹⁴

The orientation of images is used to obtain spatial coordinates from the pixel coordinates of digital images, i.e. the positioning of the images in a given spatial coordinate system.¹⁵

Drones as tools for aerial photography

Aerial orthophotography by drone is a modern, now widespread and effective method of collecting geographic information, as well as mapping and terrain modelling. The use of drones enables the rapid and accurate capture of high-resolution aerial photographic data, which can then be processed and used to create maps and terrain models. In essence, drone orthophotography is a technological development that is revolutionising the collection and use of geographic data. The use of drones allows orthophotography to be produced quickly and cost-effectively, which has a number of advantages, and can be used in many areas in addition to mapping, such as flood protection, construction, agriculture, forestry, horticulture and archaeology.

Terrain recording with total station

Field geodetic measurements, 3D point determination can be produced most quickly with conventional instruments using measuring stations. For this reason, measuring stations are used for field surveys, as the only limits to surveying an area from a single point of view are the telemetry section and the terrain conditions. The measuring stations implement horizontal and vertical angle measurement, telemetry, storage, management, transformation and calculation of the measurement results in a single unit.¹⁶

The accuracy of the height determination is equivalent to trigonometric height measurement, which is appropriate for field surveys. Trigonometric altimetry is a method used in geodetic surveying to determine height differences. Its accuracy depends on the measurement conditions and the quality of the instrument, and can be measured to within a few centimetres of the ground, but exactness can be increased to millimetres. The advantages of trigonometric height measurement include the possibility of measuring large differences in

¹³ ENGLER 2010: 6–8.

¹⁴ ENGLER 2010: 8–10.

¹⁵ JANCsó 2010: 3–5, 9.

¹⁶ KUTASSY 2021: 67–68.

height over small distances and the direct measurement of distant points. The disadvantage is that it requires knowledge of distance – hence the importance of distance accuracy – and is generally less accurate than levelling.¹⁷

The law of propagation of error is used to calculate the reliability of trigonometric height measurement:

$$\mu_{\Delta m} = \sqrt{\mu_h^2 + \mu_l^2 + \tan^2 \alpha * \mu_d^2 + \left(\frac{d}{\cos \alpha}\right)^2 * \frac{\mu_\alpha^2}{\rho^2} + \left(\frac{d^2}{2r}\right) * \mu_k^2}$$

where

μ_h is the instrument height,

μ_l is the signal height,

μ_α is the mean error of the altitude angle measurement,

μ_k is the mean error of refraction coefficient, usually taken as $\mu_k = +/- 0.05$

Up to a distance of 400 metres, $\mu_{\Delta m} = +/- 0.01$ m, up to a distance of about 4 kilometres, a reliability of around $\mu_{\Delta m} = +/- 0.10$ m can be achieved with the appropriate measurement technique.¹⁸



Figure 1: Location of the sample area

Source: edited by the author from Google Maps

¹⁷ TAKÁCS 2017.

¹⁸ TARSOLY 2010: 22.

Measurements

For comparative measurements, I have selected a 500 m long stretch along the Baja–Foktő reach of the main flood protection embankment No. 03.02 between Dusnok and the M9 main road, located between embankment km sections 27 and 26.5 (Figure 1).

The whole 03.02 protection line falls within the area of operation of the Lower Danube Valley Water Management Directorate. The protection section protects Dusnok, Fajsz, Bática, Miske, Hillye, Drágszél, Homokmégy, Alsómégy, Halom, Öregcserető, Csorna, Negyvenszállás, Foktő, Kalocsa, and the lower-lying parts of the highland settlements. The construction of defence section 03.02 started in the 1930s. The embankments were built and reinforced under the direction of the Pest County Sárközi Flood Relief Society, founded in 1872. The reinforcement of the embankments fell short of the necessary safe construction. In the case of some devastating floods, the increase in defensive capacity was limited to filling in the height gaps. Even today, the damaging effects of irregular elevations and inadequate construction technology can cause unexpected surprises in flood defences. Poor subsoil, foundation and compaction failures, etc. can significantly reduce the stability of the embankment. This section has been subject to 19 major floods from 1876 to the present, 13 of which were summer floods and 6 winter/ice floods, the most notable being the Great Danube Flood of 1956 and the summer floods of 2013. The embankment crest is 6.0 m wide, with a 1:3 slope on the water side and a 1:4 slope on the flood protection side, with a 40 m wide buffer zone.

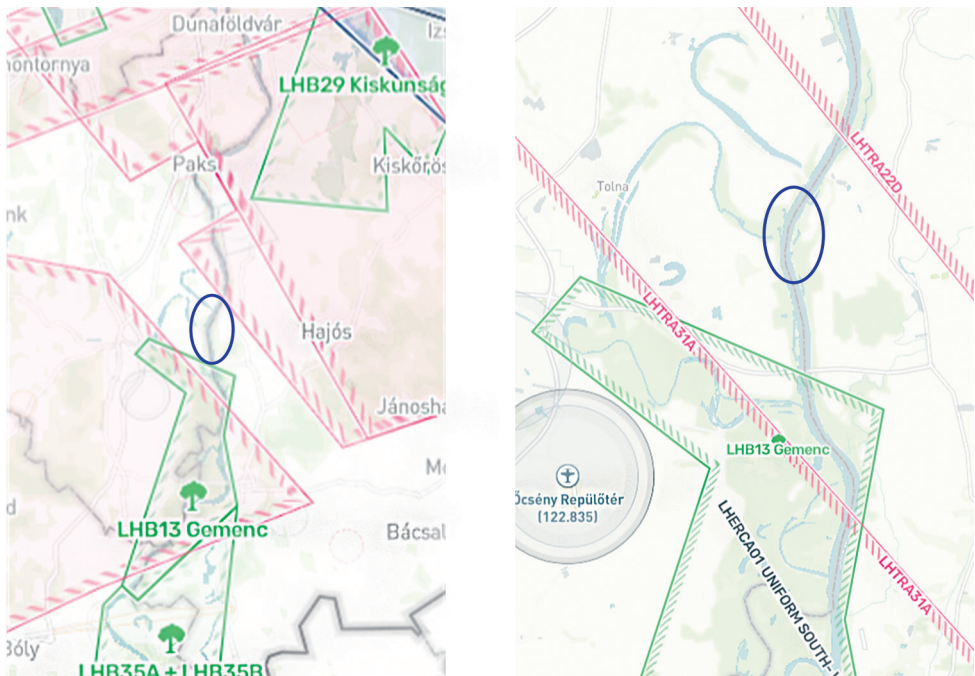


Figure 2: Selecting a sample area on airspace.com
Source: compiled by the author based on legter.hu

Plan for survey plot

I have designated the area to make the use of the unmanned aircraft legally and easily, so I have chosen this part of the site because it does not require an incidental airspace or a nature reserve permit, and it does not affect any inhabited area (Figure 2).

I selected and activated the area for the flight via the MyDroneSpace app. I took the airspace map on airspace.hu into account when selecting the sample area.

For the survey, I used a Leica MS60 robotic measuring station, a Leica Viva GS14 GNSS receiver and a DJI Phantom 4 drone.

Measurement with robotic total station

The robotic measuring station is a 1" angular measurement and 1 mm + 1.5 ppm distance measuring accuracy device, so I used the ground survey as a basis for the processing.¹⁹

The measuring station was used to survey the embankment section by section with its feature points such as the embankment foot, crown edge, crown axis, the edge and axis line of the embankment casing, which typically coincided with the crown axis line, and the feature points of the embankment, as well as field points on both sides. I also measured the alignment points for the orthophotos, and I measured the latter with a GNSS receiver, too. There were no significant differences between the two determinations. To facilitate and clarify the processing, I used codes to distinguish the detail points.

The processing of the points of the approximately 500 m long embankment section surveyed with the measuring station was carried out in AutoCAD Civil 3D. From the processed points, I created a Triangulated Irregular Network (TIN) surface based on the coding.²⁰

From this surface, elevation values can be determined, which is a good basis for comparing the data generated by orthophotos.

Survey with UAV

For the survey with UAV, I prepared a flight plan of the area to be flown in Pix4D Capture the day before the flight, which I checked before the flight to ensure that the settings and calibration data were appropriate for the field conditions. After pre-flight checks, I plotted and mapped the area to be flown using MyDroneSpace. The survey was conducted at an elevation of 60 metres above ground surface.

After the survey, I used Drone2Map and ArcGIS – ArcMap to process the data. I started the processing with Drone2Map, a desktop application developed by the Environmental Systems Research Institute (ESRI) that can be used to produce orthophotos from aerial photographs,

¹⁹ See: <https://leica-geosystems.com/hu-hu/products/total-stations/multistation/leica-nova-ms60>

²⁰ See: <http://docs.autodesk.com/CIV3D/2012/HUN/files/CUG/GUID-C26F9546-BD41-4DE2-BF50-DA262A-91C4E-837.htm>

as well as 2D and 3D maps of landmarks and areas that cannot be accessed or fully covered due to size or terrain.

The data thus extracted was further analysed and examined in desktop for ArcGIS – ArcMap (ESRI), one of the most widely used GIS software worldwide.²¹



Figure 3: Height differences of orthophoto points

Source: compiled by the author

Results

The results of the ground survey were compared with the altitudes derived from the orthophoto. Out of the 22 sections surveyed, 19 sections had points with a difference of up to 10 cm between the two values (Figure 3). As my investigation is focused on the use of orthophotography to determine the embankment height, I considered those with differences of less than 5 cm between two surveys as acceptable values. In addition to this, I have also investigated differences of between 5 and 10 cm to test the acceptability of the digital elevation model.

²¹ MÁRKUS 2010: 8–11.

The following results were obtained as a percentage distribution:

54% of the points in the cover had a difference of less than 5 cm, 27% between 5 and 10 cm and 16% fell in the interval between 10 and 20 cm, with only 4% having a larger difference.

Of these, 20% are not suitable for major surveys (Figure 4).

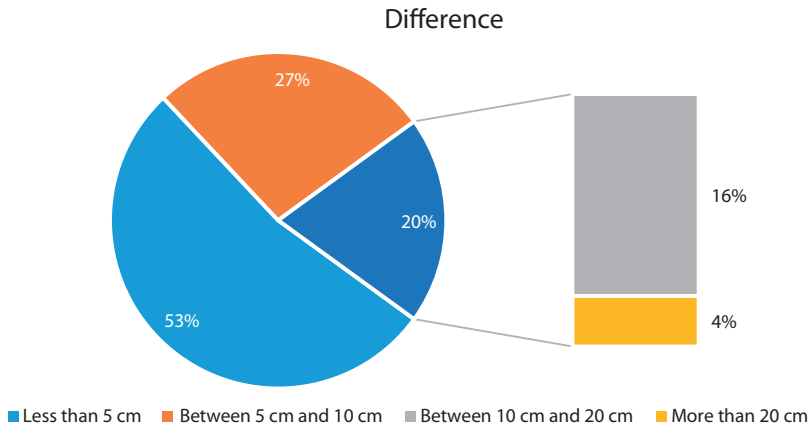


Figure 4: Percentage distribution of Asphalt points

Source: compiled by the author

The differences at the field points show a much more negative picture. Only 26% of the points had a deviation of less than 5 cm, 22% of the points fell into the 5 to 10 cm range, while the number of points that were unusable/out of tolerance increased significantly, reaching a combined value of 52%, i.e. more than half of the points surveyed (Figure 5).

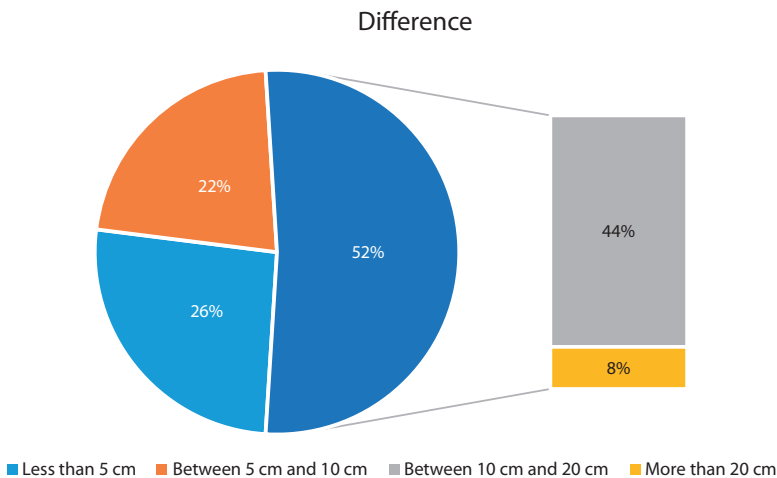


Figure 5: Percentage distribution of field points

Source: compiled by the author

The percentage of usable points on the crown edge has now reached 30%, but the percentage of unusable points has reached a high of 40% (Figure 6).

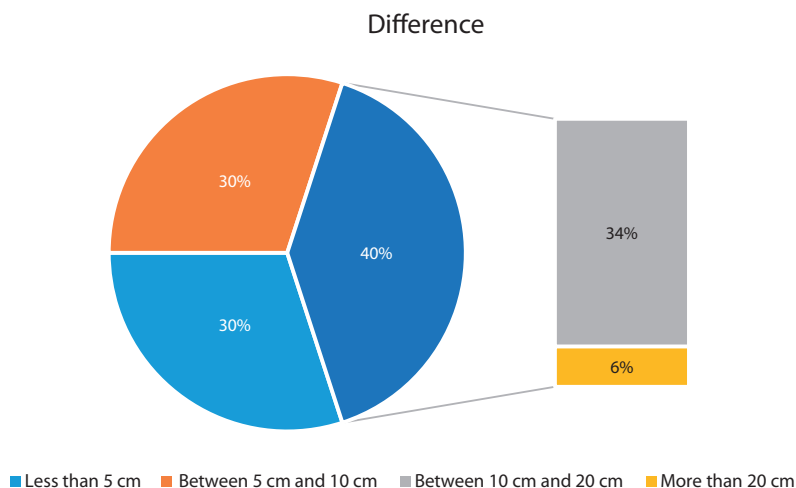


Figure 6: Percentage distribution of points on the crown edge

Source: compiled by the author

The percentage of points below 5 cm at the bottom of the slope is 34%, and the percentage of points between 5 and 10 cm, which are still acceptable, is also at this level. The percentage of non-compliant deviations here is 31% (Figure 7).

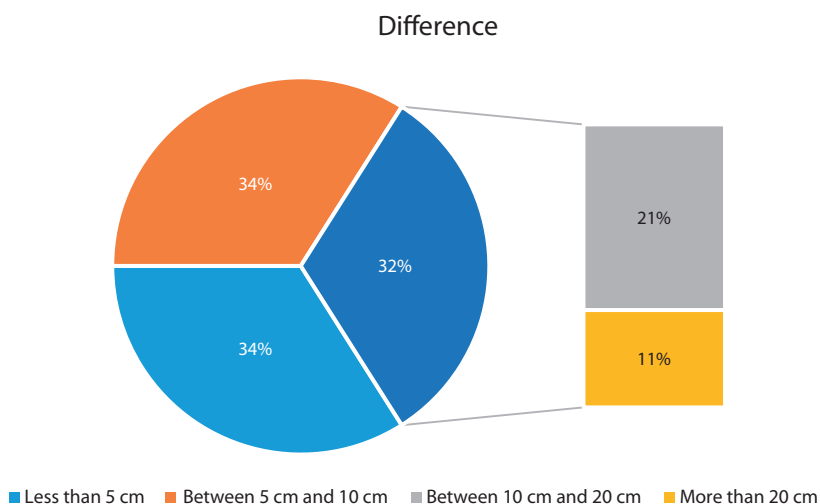


Figure 7: Percentage distribution of points at the bottom of the slope

Source: compiled by the author

For points measured in the slope, the proportion of points below 5 cm is 35%, and for points between 5–10 cm is 27%. These points also have a high percentage of unusable points, 37%. (Figure 8).

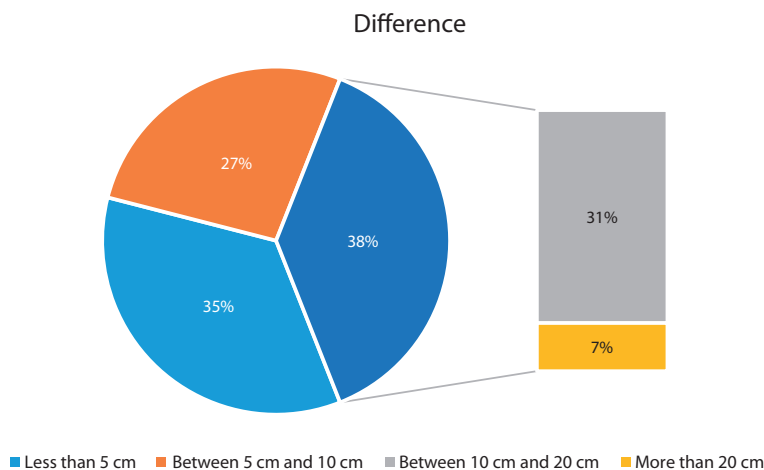


Figure 8: Percentage distribution of points in the slope

Source: compiled by the author

For further analysis, I used the Digital Elevation Model (DEM) created from orthophotos.

I created the TIN surface from which I extracted a raster file in TIFF format.

From the survey using two different technologies, I thus obtained two DEMs that are suitable for comparison, and the difference between the two surfaces can be used to illustrate the difference between the two technologies.

I have taken the surface from the ground survey as a basis and adjusted the surface extracted from the orthophoto so that the two surfaces overlap completely. I then created the difference surface. I used the programs AutoCad Civil 3D and ArcMap.

When examining the difference surface, I found that the areas with a maximum deviation of 5 centimetres account for only 18.6% of the total area (Figure 9). This means that the model created from the drone orthophoto is not suitable for accurately determining the height of embankments, as the percentage of areas within the margin of error is extremely low.

The difference surface area was similar for differences of 5–10 cm. In this case, the area where the deviation is less than 10 cm is also small. Around 15.4% of the area covered meets this criterion. Thus, deviations not exceeding 10 cm amount to about 34% of the total area.

Still, if deviations below 10 cm were already in good proportion, orthophoto evaluation could not be used for flood control, because this value is already significant for embankment overtopping during flood control. However, a difference of 10 cm could be accurate enough for topographic surveys, which would mean that photogrammetry evaluation could be useful for floodplain surveys. However, this presupposes further investigation (Figure 9).

In 97.1% of the surveyed area, the maximum deviation is less than 1 m, which may be suitable for planning or reconnaissance tasks where this accuracy is acceptable (Figure 10).

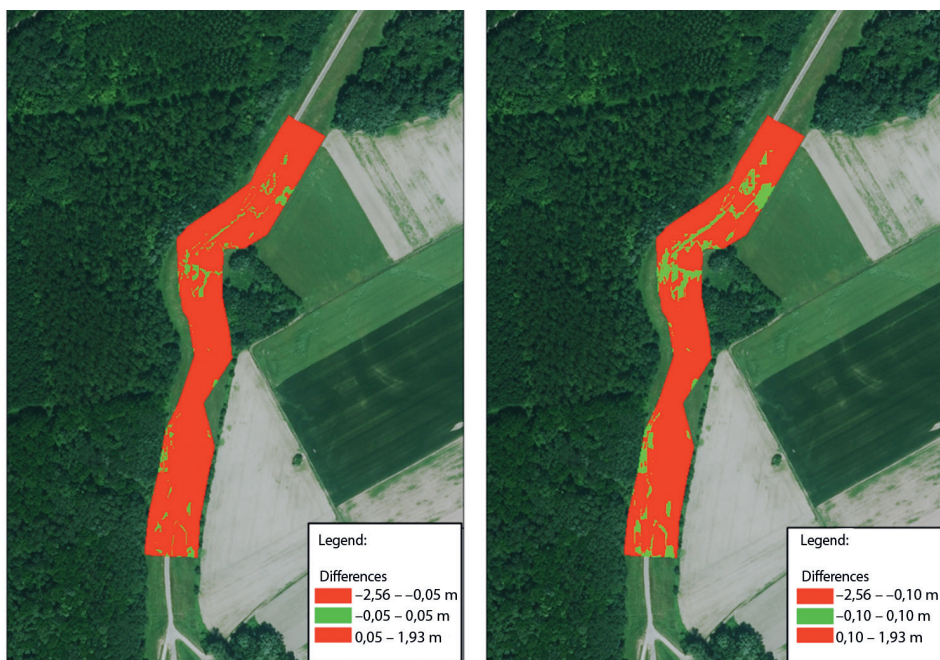


Figure 9: Evolution of tolerance for 5 centimetres and 10 centimetres
Source: compiled by the author



Figure 10: Error values less than 1 m
Source: compiled by the author

Summary

From the results presented above, it is clear that the pavement shows the best results. For areas covered by vegetation, such as field points, slope points, crown edges, the percentage of deviations not exceeding 5 cm is around 30%, i.e. about 70% of the points tested did not meet the expected criterion. One explanation for this may be that, while in the case of the ground survey, I was indeed measuring the field point, the ground surface itself, in the case of the orthophoto evaluation, the extent of the vegetation could not be fully taken into account, as their height is not homogeneous. (In my opinion, a comparison with Light Detection and Ranging –LiDAR – images would show different or better results. This could be a future task.)

Another option to explore in the future is the location and height determination of interface points. The interface points were determined using total station and GNSS technology. For orthophoto matching, the heights measured with the total station were used, the accuracy of which corresponds to trigonometry height measurements. If the height of the points is determined by levelling, the height fitting can also be improved.

According to the results of my study, the orthophotos taken by unmanned aircraft are not suitable for predicting the flood overtopping of protective structures. The data obtained from such orthophotos are generally not sufficiently accurate for precise geodetic surveys due to the 5 cm margin of error required in the hydrological domain. The percentage of areas within this margin of error is low, only 18.6% of the total area.

The rate of deviations within 10 centimeters is also unsatisfactory for a topographic survey based on the present results. However, further studies are needed before orthophotographs taken with a drone can be used for topographic surveying. The aim of my investigation was primarily flood protection embankments and not floodplains. In particular, how accurately the height of the embankment can be determined in the event of a flood to predict where water may cross the embankment, and what are the critical places where increased protection is needed during that time.

Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) are excellent to prevent or remedy emergencies in the water management area, and they can be useful for flood protection. These can be used primarily to determine the location and horizontal extent of an emergency, to estimate the territorial extent of such phenomena, and to estimate and determine the area of influence of phenomena that have already occurred. For example, the detection of flood protection phenomena (boils, trickles, leaks) on the saved side, their location, and the survey of already flooded areas.

References

- ENGLER, Péter (2008a): *A légi fotogrammetriai technológia*. Budapest: Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet.
- ENGLER, Péter (2008b): *A fotogrammetriai információszerzés eszközei, módszerei*. Budapest: Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet.

- ENGLER, Péter (2010): *Általános fotogrammetriai technológia*. Székesfehérvár: Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai kar.
- JANCSÓ, Tamás (2010): *Tájékozás*. Székesfehérvár: Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai kar.
- KRAUTER, Erika (2008): *A földi fotogrammetriai technológia*. Budapest: Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet.
- KUTASSY, Emese (2021): *Geodéziai alapismeretek II*. Budapest: Ludovika.
- LECHNER TUDÁSKÖZPONT: *Ortofotók. légifelvételek*. Online: <https://lechnerkozpont.hu/oldal/ortofotok-es-legifelveletek>
- Drón törvény 2021 – érthetően szakértőktől. *Légtér*, [s. a.]. Online: <https://legter.hu/blog/dron-torveny-2021-erthetoen-szakertoktol/>
- MÁRKUS, Béla (2010): *Térinformatikai ismeretek 7. Alkalmazások és szoftverek*. Székesfehérvár: Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar. Online: https://dtk.tankonyvtar.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/7803/0027_TEI17.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Országos Vízügyi Főigazgatóság (2023): *Árvízvédelem*. Online: www.ovf.hu/arvizvedelem-vizkarelharitas/arvizvedelem/arvizvedelem
- SZŐKE, Márk (2022): *UAV geodéziai célú felhasználása a vízügyi ágazatban*. szakdolgozat Nemzeti Közzolgálati Egyetem Víz tudományi Kar
- TAKÁCS, Bence (2017): *Geodézia építészeknek*. Budapest: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem.
- TARSOLY, Péter 2010: *Geodézia 10. A trigonometriai magasságmérés*. Székesfehérvár: Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar.

Legal sources

- Commission Delegated Regulation (EU) 2019/945 of 12 March 2019 on unmanned aircraft systems and on third-country operators of unmanned aircraft systems
- Commission Implementing Regulation (EU) 2019/947 of 24 May 2019 on the rules and procedures for the operation of unmanned aircraft
- Act CLXXIX of 2020 amending certain acts related to the operation of unmanned aircraft
- Government Decree 38/2021 (II. 2.) on the flight of unmanned state aircraft

Móritz Sándor,¹  Dobor József² 

A mezőgazdaságban hazánkban alkalmazott veszélyes tulajdonságú vegyi anyagok lehetséges kockázatainak összefoglalása

Summary of the Potential Risks of Hazardous Chemicals Used in Agriculture in Our Country

A nemzetközi együttműködések és a nemzetközi jog kiemelt figyelmet fordít a biztonságra, legfőképp a veszélyes anyagokra. Az elmúlt évszázadban megindultak az együttműködési megállapodások, később pedig a tényleges együttműködések a különböző szervezetek és országok között a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos ipari balesetek megelőzése érdekében. Létrejött több nemzetközi és regionális jogi szabályzó. Ezek közül az egyik legfontosabb helyre kell tennünk a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek megelőzéséről, a balesetek kivizsgálásáról, ellenőrzéséről szóló EU Seveso irányelveket. Súlyos katasztrófák kellettek ahhoz, hogy a Seveso irányelvek létrejöjjenek, fejlődjenek. Meg kell állapítanunk, hogy a balesetek száma sajnos nem csökkenthető nullára. Ezek miatt is kell nagy hangsúlyt fektetni a mezőgazdaságban alkalmazott vegyi anyagok szabályozására és biztonságosabbá tételére, hiszen közvetett módon mindenkire hatással vannak, ha nem megfelelő módon használjuk őket, és károsodnak haszonnövényeink, valamint haszonállataink, rajtuk keresztül pedig mi magunk is.

Kulcsszavak: mezőgazdaságban alkalmazott vegyi anyagok, növényvédő szerek, műtrágyák

¹ Hallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Rendészettudományi Kar Katasztrófavédelmi Intézet Iparbiztonsági Tanszék, e-mail: sandor.moritz@gmail.com

² Habilitált egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Rendészettudományi Kar Katasztrófavédelmi Intézet Iparbiztonsági Tanszék, e-mail: dobor.jozsef@uni-nke.hu

International cooperation and international law pay particular attention to safety, especially with regard to hazardous substances. In the last century, cooperation agreements and, later on, actual cooperation between different organisations and countries to prevent major industrial accidents involving dangerous substances have been established. Several international and regional legal regimes have been accepted. One of the most important of these is the EU Seveso Directives on the prevention, investigation and control of major accidents involving dangerous substances. We have to make our safety and the protection of our physical and mental health an important consideration. We must conclude that, unfortunately, the number of accidents cannot be reduced to zero. These are also the reasons why great emphasis must be placed on regulating and making safer the use of chemicals in agriculture, since they affect everyone indirectly if they are used inappropriately and damage our crops and livestock, and through them, ourselves.

Keywords: agricultural chemicals, pesticides, fertilisers

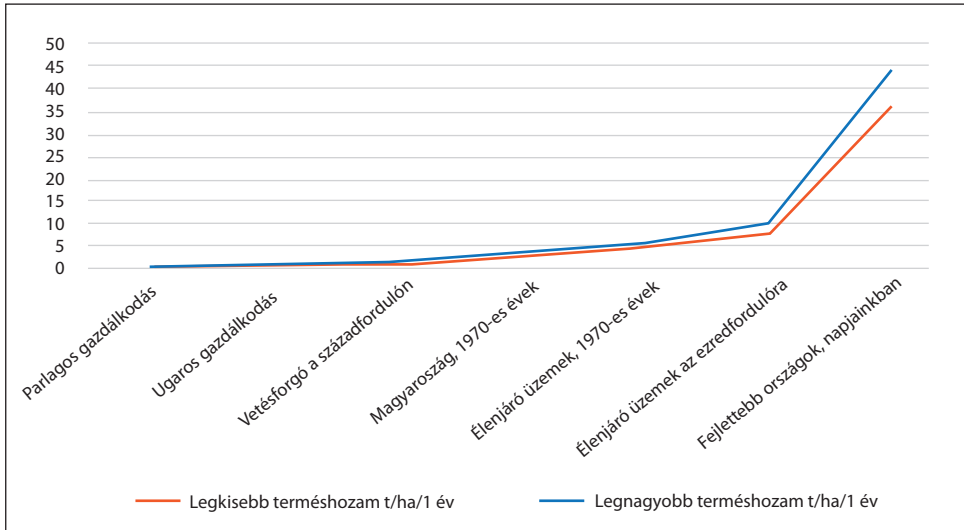
Bevezetés

Alapvető igény, hogy minden esetben a biztonság növelésére kell törekedni, az ipar és a mezőgazdaság ehhez keres technikai megoldásokat, megfelelően képzett szakembereket, és véleményeink szerint ez is meghatározza a fejlődés irányát. A veszély mint fogalom már régtől fogva kíséri az emberiséget. Minden kornak más volt a veszélyről alkotott fogalma, de minden esetben hasonló kérdések társultak hozzá: el lehet-e kerülni a veszélyt, milyen módon lehet elhárítani, mivel lehet elkerülni. A veszélyes üzemek hatósági ellenőrzése, azonosítása következetes elvárásokat vetít a hazai veszélyes üzemek felé.³ Ahhoz, hogy meg tudjuk válaszolni, tisztában kell lenni jelen korunk legnagyobb veszélyeivel. A felgyorsult ipari fejlődésnek köszönhetően mai világunk egyik legnagyobb veszélyforrása a különböző veszélyes tulajdonságú vagy szállításukban veszélyt rejtő anyagok, amelyeket a 2011. évi CXXVIII. törvény a következő módon határoz meg: „valamely veszélyes anyag természetes tulajdonsága vagy olyan körülmény, amely káros hatással lehet az emberi egészségre vagy a környezetre.”⁴ Modern korunk életszínvonala nem tartható fenn ezen anyagok nélkül.

Az 1. ábra a rendelkezésre álló statisztikai adatok alapján mutatja a mezőgazdaság fejlődését.

³ SZENDI–DOBOR 2013.

⁴ 2011. évi CXXVIII. törvény a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról, 3 §. 24. pont.



1. ábra: A termések emelkedése hazánkban t/ha/1 év

Forrás: KÁDÁR 2015: 12 alapján készítették a szerzők

A műtrágyák bemutatása

Minden növénynek 12 esszenciális tápelemre van szüksége a megfelelő anyagcsere folyamatához. Ezeket az anyagokat a növény nagyrészt a talajból nyeri ki. A fő tápelemek a nitrogén (N), a foszfor (P), a kálium (K), vannak további makroelemek, mint a kalcium (Ca), a magnézium (Mg) és a kén (S). Elengedhetetlen a mikroelemek jelenléte, bár ezekből a növénynek rendkívül kis mennyiség elegendő. Ezen tápelemek megléte és megfelelő arányú hasznosulása szükséges ahhoz, hogy a növény rendszeresen fejlődjön és növekedjen.⁵ A 18. század vége felé aztán felismerték, hogy a talajnak nem elég csak a N-tartalmát telíteni, legalább annyira fontos a P-tartalom is. Az első Angliában gyártott műtrágyák is P-alapúak voltak, az úgynevezett szuperfoszfátok. A műtrágyák folyamatos fejlődésével egyre javult a termelőképesség.⁶ Napjainkban a mezőgazdaságban alkalmazott vegyi anyagok egyik legjellemzőbb területe a műtrágyagyártás. Az 1. táblázat az értékesített műtrágya, hatóanyag szerinti éves felhasználását foglalja össze hazánkban.

⁵ Tápelemek szinergiája é. n.

⁶ WELLMANN 1999.

1. táblázat: Az értékesített műtrágya mennyisége hatóanyagban

Év	Műtrágya-értékesítés hatóanyagban, ezer tonna				Egy hektár mezőgazdasági területre jutó műtrágya, kg
	nitrogén	foszfor	kálium	összesen	
2000	258	45	52	355	61
2001	275	58	62	395	67
2002	303	62	72	437	74
2003	289	67	83	439	75
2004	293	75	85	453	77
2005	260	61	71	392	67
2006	289	75	92	456	78
2007	320	87	100	507	87
2008	294	63	74	431	74
2009	275	44	48	367	64
2010	281	46	58	385	72
2011	302	51	60	413	77
2012	313	59	66	438	82
2013	336	82	79	497	93
2014	341	82	74	498	93
2015	378	82	78	539	101
2016	404	95	99	597	112
2017	424	118	116	659	123
2018	424	117	111	652	122
2019	416	114	100	630	119
2020	443	111	96	650	135

Forrás: KSH, www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_omf002.html

Az elmúlt időszak legnagyobb robbanással járó ipari katasztrófája a Bejrutban 2020. augusztus 4-én történt ammónium-nitrát-robbanás volt. A nem megfelelő tárolás következtében 2700 tonna ammónium-nitrát robbant fel. A katasztrófa során közel 218 ember vesztette életét, 3000 megsérült, az otthonukat pedig közel 300 000-en kényszerültek elhagyni a robbanás okozta károk következtében. Az anyagot a helyi kikötőben tárolták 6 éve, mindenféle biztonsági felügyelet nélkül. Az idő során az ammónium-nitrát szennyeződött, az apró szemcsék összetömörödtek. A raktározási hely mellett keletkezett tűz hatására aztán bekövetkezett a tragédia. Az elmúlt évtizedekben több alkalommal is történtek ammónium-nitrát okozta balesetek, robbanások. 2015. augusztus 12., Tiencsin, Kína. Egy konténer-tároló raktárban több robbanás keletkezett, a harmadikban egy ammónium-nitrátot tartalmazó konténer is felrobbant, ez okozva a legnagyobb pusztítást. A katasztrófában 173 ember életét vesztette, és több százan megsérültek. 2013. április 17., Kelet-Texas. Ammónium-nitrát okozta robbanás következtében tizenöt ember meghalt, több mint 160-an megsérültek, és több mint 150 épület megrongálódott vagy megsemmisült. 2004. február 18., Irán, Neisápur. 51 db ként, műtrágyát, benzint és vattát szállító vasúti vagon szakadt le az iparvágányról, majd mintegy húsz kilométer megtétele után kisiklott és legurult a töltésen. A felrobbanó vasúti kocsit 300 ember életét vette el, és a közeli falut teljesen elpusztította. 2001. szeptember 21., Franciaország, Toulouse városa. 300 tonna ammónium-nitrát felrobbanása okozott súlyos károkat. A katasztrófában 31 ember életét vesztette, 30 súlyosan megsérült, és közel

2500-an könnyebb sérüléseket szenvedtek. 1947. július 28., Brest, Franciaország. A norvég *Ocean Liberty* teherhajó felrobbant Brest kikötőjében. A rakomány körülbelül 3000 tonna ammónium-nitrátból állt. A robbanásban körülbelül 30 ember vesztette életét, több ezren megsérültek, és súlyosan megrongálta az épületeket a városban. 1947. április 16. Az Egyesült Államok története leghalálosabbnak tartott ipari balesetében egy francia felségjelű teherhajó fedélzetén keletkezett tűz, körülbelül 2300 tonna ammónium-nitrátot robbantott fel, és az ebből eredő tüzek és robbanások láncreakciója legalább 581 ember halálát okozta. 1921. szeptember 21., Oppau, Németország. A 8 hektáron épült létesítményben 1913-tól gyártottak nitrogéntartalmú műtrágyát. Az itt készült műtrágya főként ammónium-nitrát és kálium-klorid egyenlő arányú keveréke volt. A tárolás során az így keletkezett anyag könnyen összetömörödött; fellazítására a cég a tömör masszába lyukakat fúrt és robbanószerrel lazította fel az anyagot. A baleset napjáig közel 20 000 alkalommal alkalmazták ezt az eljárást anélkül, hogy bármi is utalt volna akár csak a legcsekélyebb veszélyre is. A robbanás következtében 125 méter széles és 20 méter mély kráter keletkezett. A katasztrófában a hivatalos jelentések szerint 561 ember életét vesztette, 1952 megsérült, és 7500 ember vált hajléktalanná. Oppauban az épületek mintegy 80%-a megsemmisült.⁷

Az ammónium-nitrát jelentős számú káreseménynek volt okozója az elmúlt száz évben, a szabályozások szigorodtak.⁸

A növényvédő szerek bemutatása

Növényvédő szerek, vagy más néven peszticidek azok a biológiailag aktív anyagok, amelyek a haszonnövények terméshezámára, az emberek és a háziállatok egészségére veszélyes kártevőket, a haszonnövények kórokozóit és a gyomnövényeket sikeresen képesek elpusztítani. Egy másik megfogalmazásban a peszticidek olyan vegyszerek, amelyek megelőzésre, megsemmisítésre, riasztásra vagy kártevők elleni védekezésre szolgálnak. Folyadékként, permetként, porként vagy granulátumként és gázként is alkalmazzák. Már a 18. században is alkalmaztak növényvédő szereket, például a nikotint rovarölő szernek. Vagy például a 19. században a kőszénkátrányt, amelynek cian- és arzéntartalma tette kedvelt és hatékony alapanyaggá.

Szerves anyagok felhasználása a mezőgazdaságban nélkülözhetetlen, a műtrágyák mellett a növényvédő szerek túlnyomórészt szerves vegyületek, kezelésük komoly szakértelmet igényel.⁹

A 20. század közepén alkalmazták a mára már hírhedt DDT nevű szert. Az évszázadok során sokszor használt fel az emberiség olyan anyagokat, amelyek ugyan rendkívül hatékonyak voltak, ám ezzel együtt komoly negatív hatásokat is kifejtettek. Szennyezték a környezetet, mérgezték az ételleinket, haszonállatainkat. Mára komoly fejlődésen ment keresztül ez az iparág is. Napjainkra fontossá vált saját és környezetünk biztonsága, valamint egészsége, egyre több új, alternatív megközelítési mód születik. A biztonság egyre fontosabb a raktározáson

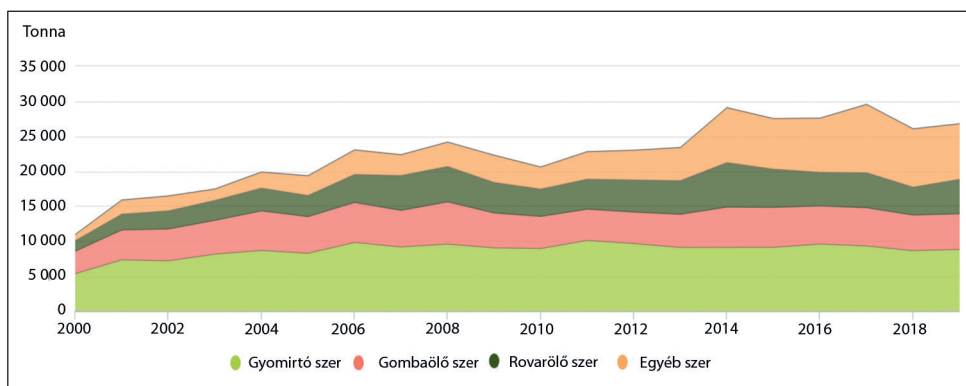
⁷ GYENES–DECHY 2016.

⁸ DOBOR – KÁTAI–URBÁN – SZENDI 2013.

⁹ DOBOR 2018.

át az értékesítésen keresztül a végfelhasználóig. A következő részben a növényvédő szerek csoportosítását mutatjuk be.¹⁰

A 2. ábrán a hazai növényvédőszer-értékesítés látható.



2. ábra: Növényvédő szerek értékesítése hazánkban

Forrás: KSH, www.ksh.hu/docs/hun/xftp/stattukor/novenyvedoszer/2019/index.html

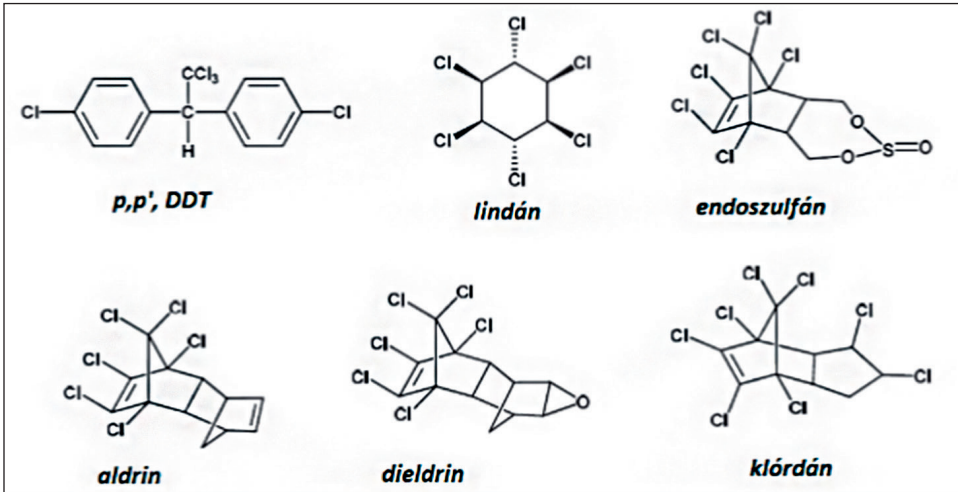
A túlzott vegyszerhasználat súlyos következményekkel járhat. A nem megfelelő felhasználás következtében sérülhet a növény, szennyeződhet a környezete, sőt akár vízbázisba jutva is komoly károkat és problémákat okozhat. Fontos kritérium annak biztosítása, hogy a peszticidek ne károsítsák az emberi egészséget, és ne legyenek elfogadhatatlan hatásai a környezetre. Az előírások betartatása biztosítja, hogy csak engedélyezett termékek kerülhessenek forgalomba, hogy a termékeket fenntartható módon használják fel, és hogy a vegyszerek hatásának nyomon követése megvalósuljon. A megfelelő vegyszerhasználatot úgy lehet a legkönnyebben megvalósítani, hogy megtanítjuk a felhasználóval, mit és hogyan lehet és érdemes alkalmazni. Óriási szerepe van a megfelelő oktatásnak. Hazánkban különböző növényvédelmi tanfolyamokat szerveznek a Zöld könyv megszerzése érdekében, amelynek birtokában lehet csak növényvédő szert forgalmazni, vásárolni és felhasználni. Ezt bizonyos időközönként meg kell újítani. További képzést nyújtanak a növényvédelmi szakmérnök, növényorvos, precíziós mérnök képzések. A képzéseken mindenhol kiemelt figyelmet fordítanak arra, mennyire fontos a növényvédőszer-használatot a legalacsonyabb szinten tartani, valamint a túlzott vegyszerhasználat okozta veszélyek következményeire is felhívják a figyelmet.

A növényvédő szerek veszélyei, betiltott növényvédő szerek

Az eddig felsorolt tulajdonságokon túl van még veszély, amit nem a használat, a tárolás vagy a szállítás helytelen alkalmazása idéz elő, hanem a növényvédő szer hosszú távú hatása. Egyes esetekben a nem megfelelő növényvédő szerek, mint például a klórdán vagy a lindán, amelyeknek a használatát azóta betiltották, okozhatnak rákos megbetegedést, születési

¹⁰ ANSES 2020.

rendellenességeket és tanulási zavarokat is.¹¹ A 3. ábrán néhány, mára már kivont növényvédőszer-hatóanyag látható.



3. ábra: Veszélyes tulajdonságú betiltott növényvédőszer-komponensek

Forrás: DOBOR 2018

Az egyik legismertebb betiltott növényvédő szer a diklór-difenil-triklóretán (DDT). Ez az anyag rendkívül hatásos rovarölő szernek bizonyult az 1940-es években, elsősorban a katonák között pusztító malária, tífusz és más rovarok által terjesztett emberi betegségek leküzdésére alkalmazták, de a polgári lakosság körében is bevetették az említett rovarok ellen. Később egyre több vizsgálat bizonyította negatív hatását, és a hatóságok korlátozni kezdték, majd be is szüntették a használatát. Elsők között 1972-ben az EPA (U.S. Environmental Protection Agency, Amerikai Környezetvédelmi Ügynökség), majd több nemzetközi hatóság is a kivonása mellett döntött. Az EPA 1996 óta vesz részt a nemzetközi tárgyalásokon a DDT és más, a világon használt, környezetben tartósan megmaradó szerves szennyező anyagok használatának ellenőrzésére törekedve.¹² Az Egyesült Nemzetek Környezetvédelmi Programjának égisze alatt az országok összefogtak, és tárgyalásokat folytattak egy egyezményről, amely a DDT-t is magában foglaló, perzisztens szerves szennyező anyagok (*persistent organic pollutants*, POP) globális tilalmait vagy korlátozásait vezette be. Ez a szerződés a POP-okról szóló stockholmi egyezmény néven ismert.¹³ További érdekesség, hogy az egyezmény korlátozott mentességet tartalmaz a DDT használatára a maláriát okozó mikrobát terjesztő szúnyogok elleni védekezésre – ez a betegség még mindig emberek millióinak halálát okozza világszerte. 2006 szeptemberében az Egészségügyi Világszervezet (WHO) kinyilvánította, hogy támogatja a DDT beltéri használatát az afrikai országokban, ahol a malária továbbra is komoly egészségügyi problémát

¹¹ PÁTZAY–DOBOR 2016.

¹² EPA é. n.

¹³ Vegyi anyagok szabályozása, stockholmi egyezmény.

jelent, arra hivatkozva, hogy a peszticid előnyei meghaladják a környezeti és az egészségügyi kockázatokat. A WHO álláspontja összhangban van a POP-okról szóló stockholmi egyezményrel, amely tiltja a DDT minden másfajta felhasználását, kivéve a malária elleni védekezést.¹⁴ Az egyezmények mellett egy erősebb szabályozási forma is szükségessé vált, így jött létre az Európai Parlament és a Tanács 850/2004/EK rendelete (2004. április 29.) a környezetben tartósan megmaradó szerves szennyező anyagokról és a 79/117/EGK irányelv módosításáról szóló rendelet. A rendelet leírja azon anyagok jegyzékét, amelyek alkalmazása tilalom alá esik, valamint használatuk nem engedélyezett. Láthatjuk, hogy egy-egy növényvédő szer mennyiféle hatással van akár hosszú távon is a szervezetünkre és környezetünkre. Sokszor csak jóval később derül ki, hogy nem várt következményei vannak a használatnak. Napjainkban egyre jobban törekednek, hogy különböző veszélytelen, természetes szerekkel pótolják az eddig forgalomban lévő anyagokat. Ez azért is fontos, mert ezek a típusú bio növényvédő szerek nem károsítják sem a környezetet, sem pedig az emberi egészséget, használatuk is jóval biztonságosabb, kisebb akár a balesetek, akár a sérülések kockázata is. Ezáltal a gyártásuk, forgalomba hozataluk és tárolási kritériumaik is jóval kisebb kockázattal járnak.

A veszélyes anyagok szállításánál bekövetkező káresemények megelőzése és elhárítása fontos feladat, a cikkben említett vegyi anyagok szállítása számos esetben vasúton történik.¹⁵

Összegzés

2012-ben a katasztrófavédelemmel kapcsolatos jogszabályi és szervezeti változások nagyban segítették a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek megelőzését, és ezzel kapcsolódva segítették a biztonság növelését és a kockázatok csökkentését. A katasztrófavédelem mint iparbiztonsági hatóság által felügyelt veszélyes üzemi tevékenység biztonsági fejlődése jelentős, gondolhatunk itt az üzemek védelmi rendszereire, a kockázatelemzések, kockázatértékelések kapcsán hozott intézkedésekre vagy az oktatások, gyakorlatok minőségének fejlődésére.

Véleményem szerint a fejlődés nem stagnálhat, és nem állhat meg, a rendszerek folyamatosan fejlődnek, gazdasági érdek a kapacitások növelése, ami maga után vonja, hogy a veszélyes anyagok, veszélyes technológiák, veszélyes üzemek száma nő, ezzel arányosan kell hogy a biztonságra való törekvés is fejlődjön. Továbbá fontosnak tartom, hogy az ipari fejlődéssel lépést tartva a beavatkozási állomány felkészítése és egyes káresemények felszámolásához szükséges technikai eszközei is mindjobban fejlődjenek, és lépést tartsanak a jövő kihívásaival, egy ipari fejlődésben gazdag és biztonság szempontjából is békésebb élet megvalósítása érdekében.

A hatósági jogköröknek minden helyzetben az állampolgárok biztonságát kell szolgálnia. A katasztrófavédelmi hatóság jogkörei, valamint a munkavédelmi hatóság jogköreinek közös vizsgálata nagyban növeli a biztonságot, együttműködésük elengedhetetlen, adott esetben felmerülhet az együvé integrálásuk is. Be kell látnunk, hogy egyes esetekben a biztonság érdekében csak a kikényszeríthetőség marad. Ilyenkor szükséges az erős szankcionálási rendszer.

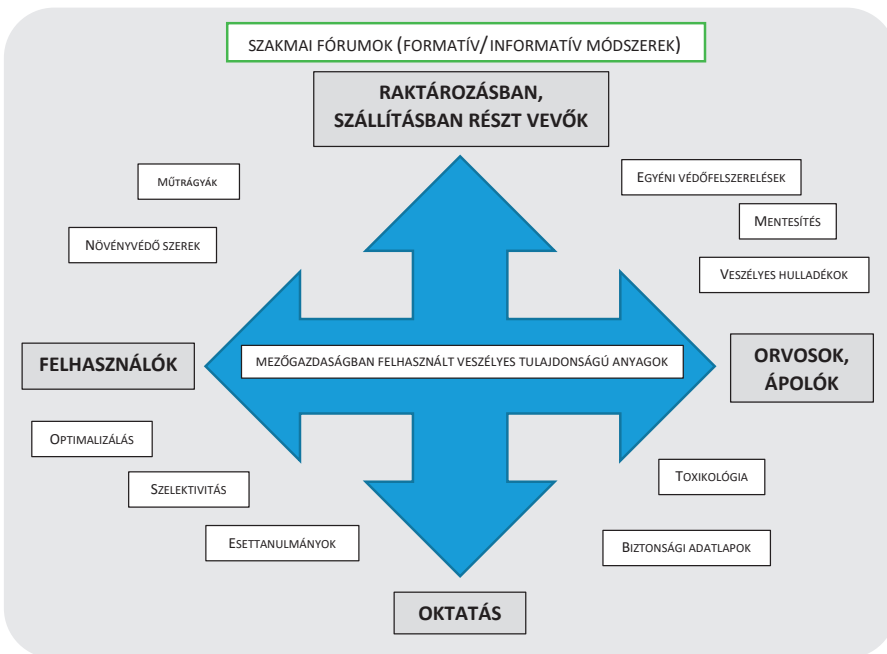
¹⁴ EPA é. n.

¹⁵ HORVÁTH 2014; HORVÁTH 2016.

Ezen túl lehetőséget kell teremteni a veszélyes anyagokkal foglalkozó üzemek részére, hogy a saját dolgozóik köréből – akár felnőttképzés keretei között – biztonságtechnikai szakembereket tudjanak képezni, akik megkezdhetik az esetleges nem várt esemény következményeinek szakszerű felszámolását.

Javaslatok

A veszélyes anyagokkal kapcsolatos tevékenységek kockázatai minimálisra csökkentésének legegyszerűbb módja véleményem szerint, ha ezeket az anyagokat nem használjuk. A veszélyes anyagoknak való kitettséget a lehető legkisebbre kell csökkenteni. Fontos, hogy minden esetben betartsuk a baleset- és munkavédelmi szabályokat, valamint hogy erről az anyagokkal foglalkozó embereket tájékoztassuk, oktassuk. Fontos szerepe van a biztonság szempontjából a megfelelő képzésnek. Katasztrófavédelmi szempontból is rendkívül fontos, hogy tisztában legyünk a veszélyes anyagoknál történő beavatkozás biztonsági szabályaival. Hogy a megfelelő védőfelszerelést használjuk egy-egy beavatkozás során. Fontos eleme a biztonságnak, hogy a megfelelő védőfelszerelés használata mellett fordítsunk hangsúlyt a megfelelő tisztításra, kézmosásra, ezzel megakadályozhatjuk, hogy az esetleges testünkre jutó anyag bekerüljön a szervezetünkbe.



4. ábra: Javaslat a mezőgazdaságban alkalmazott veszélyes anyagokkal tevékenységet végzők és további érintettek képzésének, jártasságának fejlesztésére (oktatás, szakmai fórumok) az anyagokkal kapcsolatos káresemények számának csökkentése érdekében

Forrás: a szerzők szerkesztése

A 4. ábrán a szerzők összefoglalták javaslataikat. A szakmai fórumok kibővítése és továbbiak kialakítása az érintettek körében lehetőséget biztosítana az eredményes reagálásra. Az oktatásért és annak évenkénti ismétléséért felelősök és az egészségügyben a mérgezetek ellátását végzők is részesei a cikkben ismertetett témakörnek.

Felhasznált irodalom

- Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation (ANSES) (2020): *Assessment of Plant Protection Products*. Online: www.anses.fr/en/content/assessment-plant-protection-products
- DOBOR József – KÁTAI-URBÁN Lajos – SZENDI Rebeka (2013): Az ammónium-nitrát műtrágyák tárolásából származó veszélyek és az ebből fakadó súlyos balesetek megelőzésének lehetőségei. *Hadmérnök*, 8(2), 182–190. Online: www.hadmernok.hu/132_17_doborj.pdf
- DOBOR József (2018): Veszélyes szerves anyagok felhasználásának katasztrófavédelmi szempontú elemzése és a szerves kémia technológiai folyamatainak összefoglalása. *Hadmérnök*, 13 („KÖFOP” szám), 43–61. Online: www.hadmernok.hu/180kofop_03_dobor2.pdf
- HORVÁTH Hermina (2014): Vasúti veszélyesáru-szállítás gazdasági és infrastrukturális értékelése. *Bolyai Szemle*, 22(4), 89–105. Online: <https://bit.ly/3XXZxD6>
- HORVÁTH Hermina (2016): A vasúti veszélyesáru szállítási balesetek felszámolásának tapasztalatai, különös tekintettel a vasúti vegyi elhárító szolgálat működésére. *Hadmérnök*, 11(1), 107–114. Online: http://hadmernok.hu/161_11_horvathh.pdf
- GYENES, Zsuzsanna – DECHY, Nicolas (2016): Risk and Safety Management of Ammonium Nitrate Fertilizers: Keeping the Memory of Disasters Alive. *Loss Prevention Bulletin*, 251, 32–36. Online: https://minerva.jrc.ec.europa.eu/en/shorturl/minerva/lpb251_article_fertiliserspdf
- KÁDÁR Imre (2015): *Összefüggések a talaj termékenysége és tápanyag-ellátottsága között*. Budapest: MTA ATK Talajtani és Agrokémiai Intézet. Online: <https://core.ac.uk/reader/83549720>
- KSH (Központi Statisztikai Hivatal). Adatforrás: www.ksh.hu/docs/hun/xftp/stattukor/novenyvedoszer/2019/index.html
- KSH (Központi Statisztikai Hivatal). Adatforrás: www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_omf002.html
- PÁTZAY György – DOBOR József (2016): *Ipari tevékenységből eredő veszélyforrások és elhárításuk*. Jegyzet. Online: <http://hdl.handle.net/20.500.12944/10285>
- SZENDI Rebeka – DOBOR József (2013): Veszélyes üzemek azonosítása és a kapcsolódó hatósági tevékenység(ek). *Hadmérnök*, 8(3), 125–131. Online: http://hadmernok.hu/133_13_doborj.pdf
- Tápelemek szinergiája* [é. n.]. Lat Nitrogen Hungary. Online: www.borealis-lat.com/hu/hu/content/performance-and-efficiency/synergy-of-nutrients-430
- United States Environmental Protection Agency (EPA) [é. n.]: DDT – A Brief History and Status. Online: www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/ddt-brief-history-and-status
- Vegyi anyagok szabályozása, stockholmi egyezmény. Online: <https://vegianyag.kormany.hu/stockholmi-egyezmeny>
- WELLMANN Imre (1999): *18. századi agrártörténelem. Válogatás Wellmann Imre agrár- és társadalomtörténeti tanulmányaiból*. Miskolc. Online: https://library.hungaricana.hu/hu/view/MEGY_BAZE_Om_09/?pg=7&layout=s

Jogi forrás

2011. évi CXXVIII. törvény a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról [Kat.]

Tartalom

HAJÓS BENCE: Paradigmaváltás a közúti hídtervezésben a hasznos járműterhek vonatkozásában	5
BALLA TIBOR, PADÁNYI JÓZSEF: Műszaki kiválóságok: Császár András ezredes	17
JASZTRAB PÉTER JÁNOS: Az elsötétítés biztonsági aspektusai Magyarországon – 1. rész: Alapvetések, teóriák a második világháborúban és az azt megelőző években	29
EMBER ISTVÁN, DÉNES KÁLMÁN, DARUKA NORBERT, VÉG RÓBERT, KOVÁCS ZOLTÁN: Az additív gyártás- technológia alkalmazásának lehetőségei és korlátai szikramentes kéziszerszámok készítése során	55
KOVÁCS ANDREA, ELEK BARBARA: Sugárzó hőnek kitett fák gyulladásának veszélyei és az égéskésleltetés lehetőségei	73
KÁTAI-URBÁN MAXIM, SÁROSI GYÖRGY, VASS GYULA: Veszélyesanyag-raktározás biztonságsszervezése – külföldi jó gyakorlat alapján	87
RAJMUND KUTI, GÉZA ZÓLYOMI, CSENGE PAPP: Development Directions of Fire-Fighting Equipment Using Aircraft Engines Abroad	103
VÉGVÁRI ZSOLT: Optikai elemek 3D-nyomtatással történő előállításának lehetőségei	115
HÓZER BENJÁMIN, PÁNTYA PÉTER: A magyar tűzoltósági és légoltalmi légzésvédelmi eszközök történeti áttekintése	127
HEGEDŰS ERNŐ, GÁVAY GYÖRGY, SEBŐK ISTVÁN, TENCZEL MARTIN BENCE: Topológiai optimalizálás, generatív tervezés és a 3D-nyomtatás	141
EMESE KUTASSY: Comparison of UAV Orthophoto and Ground Survey at a Flood Protection Embankment	155
MÓRITZ SÁNDOR, DOBOR JÓZSEF: A mezőgazdaságban hazánkban alkalmazott veszélyes tulajdonságú vegyi anyagok lehetséges kockázatainak összefoglalása	169