

Daruka Norbert¹ – Szalkai László²

NYÍLÁSZÁRÓK BIZTONSÁGTECHNIKAI ÉRTÉKELÉSE ÉS INNOVATÍV ROBBANTÁSOS MEGNYITÁSI MEGOLDÁSOK 3D NYOMTATOTT TÖLTETHÁZZAL

SECURITY ASSESSMENT OF OPENINGS AND INNOVATIVE BLAST OPENING SOLUTIONS WITH 3D PRINTED INFILL

[HTTPS://DOI.ORG/10.30583/2026-1-2-177](https://doi.org/10.30583/2026-1-2-177)

Összefoglalás

A tanulmány a nyílászárók biztonságtechnikai szerepét vizsgálja védelmi és rendvédelmi környezetben. Bemutatja az ajtók és ablakok ellenállási jellemzőit, a megerősítési lehetőségeket és a speciális, robbanásbiztos szerkezetek alkalmazását. Részletesen ismerteti a behatolási módszereket, különösen a robbantásos ajtónyitást, annak előnyeivel és kockázataival együtt. A munka újdonsága egy 3D nyomtatott, vízzel vagy géllal tölthető töltetház bemutatása, amely irányított energiaközlést és csökkentett repesz-, hő- és hanghatást biztosít. A fejlesztés gyorsabb, biztonságosabb és kontrolláltabb robbantásos nyitást tesz lehetővé.

Kulcsszavak: nyílászáró-biztonság, robbantásos ajtónyitás, 3D nyomtatott töltetház, rendvédelmi behatolástechnika, energiairányított robbanótest

¹ A katonai műszaki tudományok habilitált PhD. fokozatos, Robbanóanyag-ipar szakmérnök, Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar Robbantástechnikai szakmérnök/szakember szakirányú továbbképzés, képzésvezető; E-mail: daruka.norbert@bkg.uni-obuda.hu; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7102-1787>.

² Nemzeti Közzolgálati Egyetem, Katonai Műszaki Doktori Iskola, doktorandusz. E-mail: szalkai.laszlo81@gmail.com; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4843-4591>

Absztrakt

The study examines the security role of windows and doors in defence and law enforcement environments. It describes the resistance characteristics of doors and windows, reinforcement options, and the use of special explosion-proof constructions. It describes in detail methods of intrusion, in particular, blast door opening, with its advantages and risks. A novel feature of the work is the demonstration of a 3D printed charge housing that can be filled with water or gel, providing controlled energy release and reduced shrapnel, heat, and sound effects. The development will enable faster, safer, and more controlled opening of blast doors.

Keywords: door and window security, explosive breaching, 3D printed charge housing, law enforcement forced entry techniques, directed-energy explosive device

Bevezetés

A nyílászárók – tehát az ajtók, ablakok, kapuk, illetve más nyitható-zárható szerkezetek – látszólag egyszerű, minden épületben megtalálható elemek, mégis kiemelt jelentőségűek mind komfort-, mind biztonsági és védelmi szempontból. Ezek a szerkezetek funkciójuknál fogva egyszerre szolgálják a használhatóságot (szabad átjárás, fény- és levegőbejutás), illetve az épület határoló rendszerének integráns részét is képezik – ezért amennyiben nem kapják meg a szükséges figyelmet, könnyen „gyenge ponttá” válhatnak az épület védelmi rendszerében.

A nyílászárók elsődleges feladata az, hogy biztosítsák az épület használhatóságát, mivel lehetővé teszik a ki-be közlekedést, a természetes fény és friss levegő bejutását, valamint gondoskodnak az épületszerkezet zárhatóságáról és szigeteltségéről. Ugyanakkor a védelmi szemléletű épületgondozásban e szerkezetek az épület külső határainak olyan pontjai, ahol a belső tér és a külső környezet találkozik. Ezért a mechanikai behatolás, a huzat, a hőveszteség, a zaj vagy akár a sugárzás szempontjából is kritikusak lehetnek.

„Az épületek védelmi szempontból leggyengébb pontja a nyílászáró. Igaz ez nem csak a betörésvédelem, de a hővédelem (hőszigetelés) és a zajvédelem (hangszigetelés) vonatkozásában is.”³

³ Ablakos.hu. (n.d.).

A modern építészet és az energetikai szempontok előtérbe kerülésével a nyílászárók szerepe jelentősen kibővült. Ezek a térelválasztók nemcsak mechanikai záró- és nyitható elemként értelmezhetők, hanem a komfort, a fenntarthatóság és a biztonság részeként is. Például a hő- és hangszigetelés, a légzárás-tömítettség, valamint a betörésvédelmi vasalatrendszerek mind olyan jellemzők, melyek meghatározzák, hogy a nyílászáró milyen mértékben képes megfelelni az elvárt védelmi és komfortkövetelményeknek.

Különösen igaz ez a védett létesítmények esetében, amikor az épület funkciója (például katonai, kormányzati, kritikus infrastruktúra) megköveteli a fokozott fizikai, technikai vagy akár CBRN-védelmi szintet⁴, akkor a nyílászárók nem csupán egyszerű használati elemek, hanem aktív biztonsági komponensek. A megfelelő anyagválasztás, csatlakozószervezetek, zármechanizmusok és riasztási integráció mind hozzátartoznak ahhoz, hogy a nyílászáró – és ezáltal az épület határolószervezete – valóban védelmet nyújtson.

A nyílászárók tehát többfunkciós szerkezetekként jelennek meg, mivel használhatósági, komfort- és védelmi feladatokat is ellátnak. A cikk további részében ezeknek a funkcióknak a részletes bemutatását követően áttekintjük, hogyan erősíthetők meg a nyílászárók a behatolás ellen, illetve milyen kialakítások jellemzőek különböző védelmi igényű létesítményeknél.

A nyílászárók és amit tudhatunk róluk

Az épületek nyílászárói – az ajtók, ablakok, kapuk és zsiliprendszerek – több szempont alapján is rendszerezhetők, hiszen funkciójuk, anyaguk, működési módjuk és biztonsági jellemzőik egyaránt eltérőek lehetnek. A csoportosítás célja, hogy átláthatóvá tegye e szerkezetek sokféleségét, és segítsen az adott építészeti, technológiai vagy védelmi követelményekhez leginkább illeszkedő típus kiválasztásában.

⁴ Chemical, Biological, Radiological and Nuclear – CBRN: az építmények, eszközök és rendszerek védettségét jelöli a vegyi, biológiai, sugárzó és nukleáris anyagok hatásaival szemben. Ez a védelmi kategória különösen fontos a katonai, polgári védelmi, kormányzati és kritikus infrastruktúrák esetében, ahol a személyzet és a technológiai berendezések biztonsága kiemelt szempont.

A CBRN-védelem célja: megakadályozza a veszélyes anyagok bejutását a védett térbe (pl. gázzáró nyílászárókkal, szűrőrendszerekkel, túlnyomásos levegőellátással); minimalizálja a szennyezés mértékét, ha az expozíció mégis bekövetkezik; biztosítsa a személyzet életben maradását és működőképességét hosszabb idejű behatás esetén is.

A legáltalánosabb megkülönböztetés az, hogy a falnyíláson személyforgalom történik-e. Ennek alapján beszélünk ajtókról és ablakokról. Azonban a modern építészeti és biztonsági elvárások ennél jóval bonyolultabb kategóriarendszert igényelnek, amely magában foglalja a nyitás módját, a működtetés technológiáját, a zárás típusát, valamint a szerkezeti és anyaghasználati sajátosságokat is.

Az elhelyezkedés szerint a nyílászárók lehetnek beltéri vagy kültéri szerkezetek. A kültéri elemek hő-, víz- és hangszigetelési követelményeket is teljesítenek, míg a beltéri típusok inkább funkcionálisak és esztétikai szempontból meghatározók. Külön kategóriát alkotnak a zsiliprendszerű nyílászárók, amelyek a túlnyomásos, CBRN-védelmi vagy robbanásbiztos terek légzáró kapcsolódási pontjai.

A nyitás módja alapján megkülönböztethetünk egyenes vonalú toló, teleszkópos, íves toló, harmonika (lapozó), oldalt nyíló, lengőszárnyú, forgó, bukó és multifunkciós kialakításokat. Ezek közül a toló- és harmonikaajtók elsősorban ipari, nagy forgalmú terekben terjedtek el, míg az oldalt nyíló vagy bukó típusok a lakó- és középületekben a legelterjedtebbek.

A működtetés módja lehet kézi, automata vagy távélérésű (pl. motoros vagy elektromos). A zárás biztonsági szempontból három alapvető kategóriába sorolható: mechanikus, elektronikus jogosultságkezelés nélküli, illetve elektronikus jogosultságkezeléssel ellátott rendszerek.

A szerkezeti felépítés és anyaghasználat szerint a nyílászárók lehetnek fa-, műanyag, fém-, korrózióálló fém-, vagy kompozit (vegyes) szerkezetűek. A méret szerint egyszárnyú, kétszárnyú vagy többszárnyú változatok különböztethetők meg. A felület kialakítása alapján lehetnek tömör, üvegbetétes vagy keret nélküli szerkezetek, melyek az átláthatóság és fényáteresztés szempontjából eltérő követelményeknek felelnek meg.

A szigetelés szerint lehetnek általános, hőszigetelt, illetve hermetikusan záródó nyílászárók, utóbbiak például laboratóriumokban, bunkerekben és veszélyes anyaggal dolgozó üzemekben fordulnak elő. A rögzítés történhet építéskor beépítve vagy utólagosan beszerelve, például biztonsági ajtócsere során.

A használati funkció szerint a nyílászárók szolgálhatnak személyforgalomra, anyagmozgatásra, vagy akár csak megfigyelési célra (betekintő ablakok, biztonsági betekintők).

A kibővített funkciójú nyílászárók közé tartoznak a tűz- és füstgátló, betörésvédő, robbanásbiztos, illetve menekülési útvonalat biztosító szerkezetek, amelyek komplex védelmi szerepet töltenek be.

Külön kategóriát képviselnek a nyomás- és repeszálló kivitelű robbanásbiztos ajtók és ablakok, melyek a kritikus infrastruktúrák védelmében nélkülözhetetlenek.⁵

A robbanóanyag-feldolgozó és -tároló létesítményekben alkalmazott zsiliprendszerű anyagátadó ablakok („material lock”) például az egyik legspeciálisabb típusnak számítanak, amelyek lehetővé teszik az anyagok biztonságos átadását a különböző védelmi zónák között.

A NYÍLÁSZÁRÓK FŐBB CSOPORTOSÍTÁSI SZEMPONTJAI⁶

1. táblázat

Szempont	Kategóriák
Elhelyezkedés	Beltéri / Kültéri
Nyitás	Nem nyitható / Nyitható / Zsiliprendszerű
Nyitás módja	Egyenes vonalú toló / Teleszkópos toló / Íves toló / Harmónika (lapozó) / Oldalt nyíló / Lengőszárnyú / Forgó / Bukó / Multifunkciós
Nyithatóság	Csak egy oldalról / Mindkét oldalról nyitható, zárható
Működtetés	Kézi / Automata / Táveléréses
Zár típusa	Mechanikus / Elektronikus jogosultság nélküli / Elektronikus jogosultságkezeléssel
Méret	Egyszárnyú / Kétszárnyú / Többszárnyú
Üvegezés	Tömör / Üvegbetétes / Keret nélküli
Szerkezeti anyag	Műanyag / Fa / Fém / Korrózió- és vízálló fém / Vegyes
Szigetelés	Általános / Hőszigetelt / Hermetikusan záródó
Rögzítés	Beépített / Utólagosan beszerelt
Használat	Anyagátadás / Személyforgalom / Betekintés
Kibővített funkció	Tűzgátló / Füstgátló / Betörésvédő / Robbanásbiztos / Menekülési útvonal
Robbanásbiztos kivitel	Nyomásálló / Repeszálló

⁵ U.S. Army Engineer Research and Development Center. (2023). Blast, ballistic, and forced-entry-resistant operable windows and doors. ERDC Innovations.

⁶ A szerzők szerkesztése.

A nyílászárók általános csoportosítási rendszerének bemutatása mellett indokolt külön kategóriában kezelni azokat a speciális kialakítású szerkezeteket, amelyek kifejezetten életvédelmi létesítményekben, vezetési pontokon vagy más kiemelt védelmi szerepű objektumokban kapnak szerepet. E nyílászárók – mint például a VGA és GLA minősítésű acélajtók, a különféle bűvónyílások, valamint a kidobópántos, túlnyomás-reaktív vagy más speciális nyitási mechanizmussal rendelkező megoldások – műszaki, biztonsági és üzemeltetési szempontból lényegesen eltérnek a hagyományos szerkezetektől. Ezek a rendszerek nem csupán fokozott mechanikai ellenálló-képességet biztosítanak, hanem olyan sajátos hátfeltételek teljesítésére készülnek, mint a túlnyomás elleni záródás, a repesz- és lökéshullám-állóság, a hermetikus légzárás vagy a CBRN-védelmi követelményekhez igazodó tömörség. A speciális ajtók és nyílászáró rendszerek kialakítása gyakran többretegű acél kompozit szerkezetre, integrált energiaelnyelő pántokra és nagy teherbírású reteszelési pontokra épül, amelyek képesek elvezetni vagy csillapítani a robbanásból származó dinamikus terhelés jelentős részét.

Az életvédelmi és vezetési pontok tervezési filozófiája ezen túlmenően olyan funkcionális követelményeket is megfogalmaz – például menekülési útvonal biztosítása, túlnyomás-szabályozás, gyors vésznyitás vagy éppen automatikus záródás rendkívüli helyzetben –, amelyek további speciális műszaki megoldásokat tesznek szükségessé. A kidobópántos vagy egyoldali terhelésre kontrolláltan engedő nyitási rendszerek kifejezetten ilyen célokat szolgálnak, mivel képesek a túlnyomás vagy robbanási impulzus hatására biztonságosan reagálni anélkül, hogy a szerkezet hirtelen tönkremenetele további veszélyt jelentene. E sajátosságok miatt az ilyen típusú nyílászárók nem illeszthetők maradéktalanul a hagyományos kategóriákba, ezért a védelmi és biztonságtechnikai szempontú rendszerezésben indokolt önálló csoportként kezelni őket. Ez lehetővé teszi, hogy a nyílászárók általános szerkezeti és funkcionális jellemzőin túl a kiemelt biztonsági követelmények teljesítéséhez kapcsolódó, speciális műszaki megoldások is átlátható módon jelenjenek meg a tipológiában.

A nyílászárók védelmi és különleges funkciói

A nyílászárók az épületszerkezet és a biztonságtechnikai rendszer alapvető komponensei, mivel a térkapcsolatok szabályozásában és az épületburok működésében egyaránt kritikus szerepet töltenek be. Elsődleges funkciójuk a rendeltetésszerű közlekedés, a természetes fény- és légcsera biztosítása, továbbá a külső és belső terek fizikai,

klimatizációs és biztonsági elhatárolása. E feladatok együttesen határozzák meg az épület működési integritását és védelmi képességét. A korszerű építészetben azonban mindez kiegészül egy olyan védelmi szemlélettel, amely szerint a nyílászáró nem csupán komfortnövelő, hanem stratégiai biztonsági komponens is. Az épületek biztonságtechnikai rendszereiben a nyílászárók olyan pontok, ahol az emberi, energetikai és információs tényezők találkoznak, így a fizikai és technikai védelem egyik legfontosabb szerkezeti elemei.

A nyílászárók védelmi szerepe több, egymástól jól elkülöníthető szinten értelmezhető, amelyek eltérő építészeti, szerkezeti és biztonságtechnikai követelményekhez kapcsolódnak:

Mechanikai védelem (behatolás- és rongálásállóság)

- Betörésállósági osztályok (MSZ EN 1627–1630; RC1–RC6);
- Többrétegű acélmerevítés, többpontos záródás;
- Rejtett pántok, törésvédett zárbetétek;
- Biztonsági üvegezés (laminált, polikarbonát-erősítés).

Robbanás- és lökéshullám-állóság

- Nyomás- és repeszálló szerkezetek;
- Energiaelnyelő pántok és reteszek;
- Nagy szilárdságú acél/kompozit tokszárny-kialakítás;
- NATO ECM és egyéb robbanásállósági követelmények teljesítése;
- Robbanási impulzus elvezetésére alkalmas konstrukció.

Tűz- és füstgátló funkciók

- Tűzállósági osztályok: EI30–EI120;
- Önzáró mechanizmusok, hőduzzadó tömítések;
- Hő- és lángterjedés késleltetése;
- Menekülési útvonalak védelme, tűzszakaszolási követelmények.

CBRN-védelmi és hermetikus zárási funkciók

- Gázzáró, légmentesen záródó többrétegű acélajtók;
- Zsiliprendszerek túlnyomásos terekhez;
- Speciális tömítések (kompozit/gumi tömítők);

- Kapcsolódás szűrőrendszerekhez és túlnyomásszabályozó rendszerekhez;
- Vegyi, biológiai és radiológiai szennyezőanyagok bejutásának megakadályozása.

Integrált technikai és elektronikus biztonsági funkciók

- Elektronikus hozzáférés-vezérlés (RFID, biometrikus rendszerek);
- Visszajelző és diagnosztikai rendszerek;
- Távvezérlés, automatizált nyitás-zárás;
- Integráció épületfelügyeleti (BMS) és biztonságtechnikai rendszerekhez;
- Riasztók, rezgés- és nyitásérzékelők, kamerák integrációja.

A csoportosítás egyértelműen mutatja, hogy a nyílászárók védelmi funkciói rétegzett rendszerként értelmezhetők, ahol a mechanikai ellenállástól a speciális CBRN-védelemig terjedő skála határozza meg az alkalmazandó szerkezeti és technológiai megoldásokat.

A publikáció témáját tekintve számunkra a nyílászárók védelmi funkcióinak legrelevánsabb értelmezése az alábbi.

Az első szint a mechanikai biztonság, amely a behatolás, rongálás és illetéktelen belépés megakadályozására irányul. Az ajtók és ablakok ebben az értelemben az épület külső burkának leggyengébb pontjai, ezért megfelelő szerkezeti merevítéssel, többretegű záródással, valamint biztonsági vasalatokkal kell ellátni őket. A betörésállóság mértékét az MSZ EN 1627 szabvány határozza meg, amely hat ellenállási osztályt különböztet meg.⁷ Az alacsonyabb szintek (RC1–RC2) lakossági, míg a magasabbak (RC3–RC6) ipari, kormányzati vagy katonai létesítményekben alkalmazhatók. Az ilyen szerkezetek jellemzően acélmerevített tokot, többpontos reteszelést, biztonsági üvegezést és speciális zárbetéteket tartalmaznak. A mechanikai védelem így nemcsak a betörés, hanem az esetleges robbanás okozta nyomás- és repeszterhelés ellen is fokozott ellenállást biztosít.

⁷ Az RC (Resistance Class) minősítés a biztonsági ajtók ellenállóképességét értékeli. Az RC1-től RC6-ig terjedő skálán minél magasabb a szám, annál nagyobb a biztonsági szint. Például: az RC2 ajtók legalább 3 percig ellenállnak a betörők szerszámokkal végzett támadásainak, mint például csavarhúzó vagy fogó. Az RC3 ajtók esetében ez az időtartam már legalább 5 perc.

A nyílászárók második védelmi szintje a robbanás- és lökéshullám-ellenállás, amely különösen a védett objektumoknál – például katonai, vegyipari, energetikai és robbanóanyag-tároló létesítményeknél – bír kiemelt jelentőséggel.



1. számú ábra. Modern mintás biztonsági acél RC3 osztályú bejárati ajtó⁸

Az ilyen szerkezeteket nagy szilárdságú, nyomásálló acél- vagy vasbeton tokkal és többrétegű laminált üvegezéssel készítik, a repeszek és a túlnyomás elnyelését pedig energiaelnyelő pántok és reteszek biztosítják.

A robbanásbiztos ajtók kialakítása során figyelembe kell venni a nyomáshullám lefutását, az ajtószárny deformációs energiáját, valamint a csatlakozó falszerkezet viselkedését is.⁹ Az ilyen rendszerek a NATO ECM (Explosives Containment Module) előírásai szerint akár 7 bar

⁸ Forrás: <https://hisec-ajto.hu/webshop/ajto-festese/selyemfenyu/modern-selyemfenyu-aranytolgy-hisec-biztonsagi-acer-bejarati-ajto/> (Letöltés: 2025.11.11.)

⁹ Lupoae M. – Cotovanu A. – Casapu A-C. – et al. (2025): Experimental investigations on explosive breaching mechanisms for exterior metal doors and explosive effects on room occupants. *International Journal of Protective Structures*. DOI: [10.1177/20414196251378664](https://doi.org/10.1177/20414196251378664)

dinamikus túlnyomásnak is ellenállnak.¹⁰ A terelőfalakban elhelyezett ajtók esetében az acéllemez vastagsága minimum 10 milliméter legyen, míg a szárnyas vagy tolóajtós megoldások kialakítása a léglökés irányának megfelelően történjen.



2. számú ábra. Robbanásbiztos ajtók¹¹

A harmadik, egyre hangsúlyosabb védelmi kategória a tűz- és füstgátlás. A modern épületek tűzszakaszainak elválasztására szolgáló ajtók és ablakok célja, hogy késleltessék a tűz és a mérgező égéstermékek terjedését, valamint biztosítsák a menekülési útvonalak védelmét. Az ilyen szerkezeteket a tűzállósági idejük alapján (EI30–EI120) sorolják be, ahol az E a lángáteresztés, az I pedig a hőszigetelés időtartamát jelöli. A tűzgátló nyílászárók többretegű

¹⁰ A NATO-tagállamokban korábban széles körben alkalmazott ECM típusú robbanóanyag-tároló építmények a legújabb biztonsági előírások szerint már nem használhatók új létesítmények építésére. A Whole Building Design Guide (WBDG) tájékoztatása szerint ezek a szerkezetek nem felelnek meg a korszerű robbanás- és lökéshullám-védelmi követelményeknek, valamint az új építési szabványoknak. A meglévő ECM-objektumok továbbra is üzemeltethetők és karbantarthatók, de csak szigorú felügyelet és helyszíni biztonsági vizsgálat mellett. Az elavult konstrukciók tervei kizárólag referenciaként használhatók, új engedélyezéshez pedig átfogó felülvizsgálat és módosítás szükséges. Mindez jól mutatja, hogy a robbanásbiztos építmények tervezésében a statikus szabványok helyett egyre inkább a folyamatosan frissülő, kockázatalapú megközelítés érvényesül.

¹¹ Forrás: <https://tuzgatloajtospecialista.hu/robbanasbiztos-egy-es-ketszarnyu-nyilo-kapuk/> (Letöltés: 2025.11.12.)

acél-, alumínium- vagy kompozit szerkezetek, amelyek hőduzzadó tömítésekkel és önzáró mechanizmussal rendelkeznek, így automatikusan lezárják a nyílást tűz esetén.

A negyedik védelmi funkció a CBRN-védelem, amely a veszélyes anyagok bejutásának megakadályozására irányul. A CBRN-védett nyílászárók hermetikusan záródó, többretegű acélajtók vagy zsiliprendszerek, amelyek gumi- és kompozit tömítésekkel, kézi vagy hidraulikus zármechanizmusokkal működnek. A légmentes záródás mellett ezek a szerkezetek túlnyomásos levegőellátó és szűrőrendszerhez kapcsolódnak, így alkalmasak gázzáró, aeroszol- és radioaktív részecskeellenes védelemre is. A katonai és kormányzati vezetési pontok, valamint a polgári óvóhelyek tipikusan ilyen megoldásokat alkalmaznak, amelyek egy esetleges vegyi vagy sugárzó támadás esetén is biztosítják a bent tartózkodók életvédelmét.



3. számú ábra. Tűzgátló acél ajtóelemek¹²

Erre jó példa a polgári védelemben alkalmazott, minősített CBRN-zsilipajtó, amelyet hazai óvóhelyeken és vezetési pontokon is telepítenek. A többpontos mechanikus reteszeléssel és többlépcsős gumitömítéssel ellátott szerkezet még 30–50 kPa túlnyomás mellett is hermetikusan zár, így képes kizárni a vegyi aeroszolókat és a radioaktív port. Hasonló kialakításokat használnak a katonai vezetési pontokon is, ahol

¹² Forrás: <https://www.novoferm.hu/termek/ajtok-es-tokok/tuzgatlo-acer-ajtoelemek/novoporta-premio-vastag-falcos-tuzgatlo-acer-ajtoelemek/> (Letöltés: 2025.11.12.)

a túlnyomásos légtér fenntartása kulcselem az állomány túlélésének biztosításában egy CBRN-esemény során.

A védelmi szerepek mellett egyre nagyobb teret nyer a funkciók integrálása és automatizálása. A korszerű biztonságtechnikai rendszerekben a nyílászárók elektronikus azonosítással, távvezérelhető zármechanizmussal, érzékelőkkel és beléptető modulokkal működnek. Az intelligens rendszerek képesek reaktívan zárni tűz, robbanás vagy illetéktelen behatolás észlelésekor, sőt akár a teljes épület irányítási rendszerébe is integrálhatók. A digitális technológia tehát kiterjeszti a nyílászárók funkcióját a klasszikus fizikai védelemtől a kibernetikai biztonság irányába, ahol az információs és mechanikai védelem együttesen érvényesül.

A nyílászárók védelmi és különleges funkciói a XXI. századi építészeten már nem elkülönült kiegészítő elemek, hanem a biztonsági infrastruktúra integrált részei. Az ajtók és ablakok tervezése ma már a szerkezeti, energetikai és biztonsági szempontok szintézisében történik, mivel egyszerre kell megfelelniük az esztétikai, használati és a legmagasabb szintű védelmi követelményeknek. E sokrétű feladatkör következtében a nyílászárók mára az épületbiztonság és a kritikus infrastruktúra-védelem egyik legfontosabb, de gyakran alábecsült elemeivé váltak.

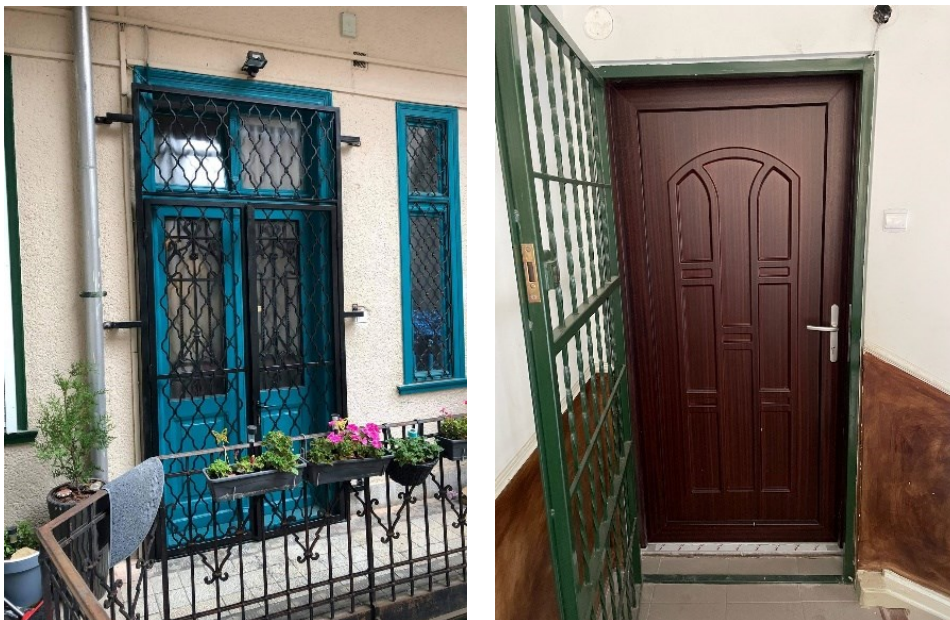
A nyílászárók megerősítése behatolás ellen

A nyílászárók – mint az épületek határoló szerkezeteinek legkönynyebben hozzáférhető pontjai – a behatolási kísérletek szempontjából mindig kiemelt kockázatot jelentenek. A védelem hatékonysága ezért nem csupán az anyagminőségen, hanem a szerkezeti kialakításon, a zárástechnikai rendszeren és a csatlakozási módokon is múlik.

A behatolás elleni megerősítés célja, hogy a nyílászáró a lehető leghosszabb ideig késleltesse vagy megakadályozza az illetéktelen behatolást, időt biztosítva a biztonsági rendszerek reagálásához vagy a személyzet beavatkozásához.

A megerősítési megoldások két fő csoportba sorolhatók: egyrészt a rögtönzött (improvizált), illetve a gyári, szabványosított rendszerekre. Válsághelyzetekben, terepi vagy ideiglenes létesítményekben gyakran alkalmaznak gyorsan telepíthető, rögtönzött megerősítéseket, mint

például acélrácsok, hegesztett hálók, acéllemezek, homokzsákok vagy keresztirányú reteszek.



4-5 számú ábra. Bejárati ajtó biztonságának növelése ráccsal¹³

Ezek elsősorban mechanikai akadályt képeznek, és céljuk nem a teljes behatolás megakadályozása, hanem annak késleltetése és a támadó energiájának elvezetése. Az ilyen megoldások különösen katonai bázisok, őrhelyek vagy polgári védelmi ideiglenes menedékek esetében bizonyulhatnak hatékonynak.

A gyári, tanúsított biztonsági rendszerek ezzel szemben hosszútávú, tervezett védelmet biztosítanak. Az MSZ EN 1627–1630 szabványok alapján az ajtók és ablakok ellenállási osztályokba sorolhatók, attól függően, hogy milyen mértékű fizikai támadásnak képesek ellenállni. Az RC3-as szint már ellenáll a feszítővassal, csavarhúzóval és kalapáccsal végzett támadásnak, míg az RC6-os osztály több mint tízperces védelmet biztosít elektromos szerszámok használata ellen is. A gyári megerősítések során alkalmazott többrétegű acél- vagy kompozit szerkezet, többpontos záródás, rejtett pántolás, valamint biztonsági üvegezés (laminált vagy polikarbonát betétes) kombinációja olyan komplex védelmet nyújt, amely már robbanás- és repeszálló követelményeknek is megfelelhet.

¹³ Forrás: <https://joszaki.hu/inspiracio/ablak-ajto/a-bejarati-ajto-biztonsagat-es-megjeleneset-is-emelhetjuk-egy-esztetikus-raccsal> (Letöltés: 2025.11.11.)



6 – 8. számú ábra. Egy- és kétszárnyú ajtók vízszintes és függőleges megerősítése hevederzárakkal¹⁴

A szerkezeti megerősítés fontos eleme a tok és a falcsatlakozás közötti kapcsolat. Egy robusztus ajtószárny mit sem ér, ha a tokot a támadó könnyen kifeszítheti vagy a falból kitépheti. Ezért a védett objektumokban a tokot acéltiplikkel vagy hegesztett kerettel rögzítik, a környező falazatot pedig vasbeton-erősítéssel látják el. A zárok és vasalatok esetében a reteszmélység, a zárnyelvek anyagminősége és a törésvédelem egyaránt kulcsfontosságú. Az elektronikus hozzáférés-vezérlők és mágneszárok csak akkor tekinthetők valódi védelmi megoldásnak, ha megfelelő áramkimaradás- és manipuláció-ellenes védelemmel rendelkeznek.

Speciális kategóriát képviselnek a védett és CBRN-létesítmények nyílászárói, ahol a fizikai biztonság mellett hermetikus zárás és nyomásállóság is követelmény. Ezeknél a szerkezeteknél a megerősítés kiterjed a tömítésekre, a nyomáskiegyenlítő elemekre és a szűrőrendszerek kapcsolódására is. Az ilyen ajtók gyakran zsiliprendszerbe integráltan működnek, lehetővé téve a fokozatos nyomáskiegyenlítést és

¹⁴ Forrás: https://ezermester.hu/cikk-6528/Lakasok_bejarati_ajtoinak_vedelme (Letöltés: 2025.11.13.)

a vegyi vagy biológiai szennyező anyagok kizárását. A gyártók ezekhez speciális gáz- és vízzáró acélszerkezeteket fejlesztenek, amelyek ellenállnak akár 50–100 kPa túlnyomásnak is.

Az ajtók behatolás elleni megerősítése során nemcsak a szerkezeti elemek teherbírása, hanem a beépítés iránya is meghatározó. Kiemelten fontos, hogy a nyílászáró olyan módon kerüljön beépítésre, hogy túlnyomás hatására az ajtólap ráfeszüljön a keretre. Ez a kialakítás egyrészt csökkenti az ajtólap deformációját, másrészt biztosítja, hogy a záródási vonal mentén a légtömörség a dinamikus terhelés alatt is megmaradjon. A túlnyomás irányába záró – azaz a nyomási hullámot „felvevő” – ajtók alkalmazása a védett terek, például óvóhelyek és vezetési pontok esetében ezért alapkövetelmény, mivel extrém fizikai igénybevétel mellett is fenntartják a tér integritását.

Különösen nagy körültekintést igényel mindez a robbantásos nyílászáró-nyitásoknál alkalmazott technikai megoldások esetében, ahol a robbanási impulzus iránya, intenzitása és időtartama meghatározó módon befolyásolja az ajtólap viselkedését. E sajátos környezetben a hibás beépítési irány súlyos szerkezeti károsodáshoz, a légtömörség megszűnéséhez, valamint a védett tér teljes funkcióvesztéséhez vezethet. Ezért a robbantással terhelt nyílászárók tervezésénél és beépítésénél a beépítési irány helyes megválasztása kiemelt biztonságtechnikai követelmény.

Mind a rögtönzött, mind a gyári megerősítések hatékonyságát tovább növeli a védelmi rendszerek integrálása. A nyílászárók riasztókkal, mozgás- és rezgésérzékelőkkel, valamint kamerás megfigyeléssel kombinálva aktív védelmi elemmé válnak. A modern biztonsági koncepciókban a cél nem a teljes áttörhetetlenség, hanem az ellenállás idejének növelése és a reagálási lánc időnyerése. E megközelítés a katonai és kritikus infrastruktúrák védelmi tervezésében már bevett gyakorlat, mivel az ajtók, ablakok és zsilipnyílások egységesen kezelendők a fizikai védelem, a technikai eszközök és az emberi felügyelet integrált rendszerében.

Kijelenthetjük, hogy a nyílászárók megerősítése nem pusztán szerkezeti kérdés, hanem komplex biztonsági feladat, amely ötvözi a mérnöki, anyagtudományi és kockázatelemzési megközelítéseket. A hatékony védelem mindig többtényezős, hiszen a jó minőségű anyagok, a precíz beépítés, a tanúsított zártechnika és az aktív elektronikus védelem együttesen biztosíthatják, hogy a nyílászáró a védelmi rendszer legkritikusabb, de egyben legmegbízhatóbb pontjává váljon.

Védett létesítmények nyílászáró-kialakításai

A védett létesítmények (katonai objektumok, parancsnoki vezetési pontok, robbanóanyag-tárolók, kritikus infrastruktúrák védett részei) nyílászárói nem egyszerű használati elemek, hanem az épület elsődleges szerkezeti védelmi pontjai. A robbanásálló ajtó (blast-resistant door) elsődleges feladata nem pusztán a nyílás lezárása, hanem a robbanási lökéshullám és repeszterhelés hatásainak mérséklése, az azt követő szerkezeti károsodás csökkentése, valamint a bent tartózkodók védelme és az épület funkciójának megőrzése. Ennek megfelelően a tervezés és kivitelezés alapelvei mindig a mechanikai rugalmasság és szilárdság, az energiaelnyelés és a növelt csatlakozási biztonság köré csoportosulnak.

A robbanásálló ajtó geometriai és anyagszerkezeti felépítése több rétegből áll. A tok és a szárny kialakítása acél- vagy acél-kompozit szerkezetre épül. A vastag, hegesztett acélkeret (esetenként vasbeton betét) biztosítja a torziós és hajlító igénybevételekkel szembeni ellenállást, míg a szárny belső magja gyakran többrétegű, energiaelnyelő rétegekkel – pl. acéllemez-héj belső acélvázsal, illetve tömör vagy kompozit betéttel készül. A kialakítás célja, hogy a nyomáshullám hatására a szárny kontrolláltan deformálódjon, az impulzus energiáját a szerkezetbe és a rögzítési rendszerbe vezesse, ezzel csökkentve a perem- és pántoldali kibontás kockázatát.

A tok–fal kapcsolat kritikus szerepet játszik, hiszen a legsérülékenyebb pontok a csatlakozásoknál találhatók. Egy robbanásálló ajtó hatékonysága sokszor azon múlik, hogy a tok mennyire mereven kapcsolódik a befogadó falszerkezethez. Ennek érdekében alkalmazott gyakorlatok között szerepel, hogy a hegesztett acélkeretet bebetonozzák vagy a tokot hegesztett acélfülekkel és nagy teherbírású rögzítőelemekkel (acéltraplók, csapok) rögzítik, valamint a tok körüli falszerkezetet (vasbeton keret) a normál kialakításhoz képest jelentősen megerősítik. A tervezők ezért gyakran együtt kezelik az ajtó- és a falszerkezetet, hogy a szerkezet dinamikai viselkedése előre kiszámítható és kedvező legyen.

Az üvegezés kérdése külön dimenziót jelent. Amennyiben átlátszó felületre van szükség, a biztonsági üvegnek laminált, többrétegű konstrukciónak kell lennie, gyakran polikarbonát vagy üveg-polikarbonát kombinációval, amely repeszfogó és energiaelnyelő képességben lényegesen jobb, mint a hagyományos edzett üveg. A keretbe fogás

módja – rejtett fixálás, rugalmas ragasztás és mechanikai rögzítés kombinációja – kritikus, mert az üveg kipattanása vagy kiszabadulása jelentősen növeli a sérülés- és belső károkockázatot.



9. számú ábra. Robbanásbiztos üvegajtó a Heathrow-i repülőtéren¹⁵

A tömítések és záródások szerepe a CBRN- és légzáró követelmények miatt is fontos. A robbanásálló ajtók tömítései nemcsak a légzárás, hanem a dinamikus terhelés során történő maradandó tömörség megőrzését is biztosítják. Gyakori megoldás a többlépcsős tömítés (belső merev tömítés és külső rugalmasságot biztosító gumiszalag), valamint a pántok és reteszek energiaelnyelő kialakítása (pl. csillapítógyűrűk vagy feszítő-elnyelő elemek), amelyek csökkentik a pántoknál és záraknál fellépő hirtelen terheléseket.

Fontos tervezési paraméter a nyomás- és repeszterhelési osztályozás, hiszen a tervezésnél meg kell határozni a várható csúcstúlnyomást (peak overpressure), a lökeshullám tartamát és irányát, valamint a repesz-spektrumot. A nemzetközi és katonai előírások (pl. ECM-típusú megoldásokra vonatkozó korábbi előírások – amelyek új építési projekteknél már nem javasoltak alkalmazásra) és a nemzeti szabványok segítenek a követelményprofil meghatározásában. A tervezés során a szerkezetet numerikus modellezéssel (dinamikus finite-element analízis) és/vagy kísérleti vizsgálatokkal szokás ellenőrizni, mivel a robbanásdinamika komplex kölcsönhatásokat eredményez a szerkezetben.

¹⁵ Forrás: <https://ferer.hu/robbanasbiztos-ajto/> (Letöltés: 2025.11.13.)

A működtetés és biztonság-üzemmód kérdése sem elhanyagolható. Robbanásálló ajtók esetén az ajtó-zár mechanikának redundánsnak, megbízhatónak és vészhelyzeti üzemmódra képesnek kell lennie (pl. kényszerített zárás tűz vagy veszély jelzésekor, ugyanakkor menekülési útvonal biztosítása belső oldalon). Az elektromos zárok, mágneszárok és automatizált vezérlések alkalmazása növeli az operációs rugalmasságot, de a tervezésben figyelembe kell venni az áramszünet-biztonságot, manipuláció-ellenes védelmet és a gyors visszajelzést nyújtó diagnosztikai rendszereket.

A telepítés és karbantartás szerepe döntő jelentőségű, mivel egy rosszul beépített vagy karbantartatlan robbanásálló ajtó hatékonysága erősen csökkenhet. Megfelelő beépítési eljárások, hegesztési minőség-ellenőrzés, a rögzítések rendszeres ellenőrzése, a pántok és zárok kenése, valamint a tömítések állapotának monitoringja mind részei a biztonsági üzemeltetésnek. Emellett a tervezés során figyelembe kell venni a helyszíni körülményeket (pl. várható hőmérsékletingadozás, korróziós környezet), és ezekhez igazítani az anyagválasztást (korrózióálló bevonatok, rozsdamentes acélelemek).

Végül a tervezés legkritikusabb pontjai a funkcionalitás és emberi tényezők, hiszen a védett létesítmények ajtóinak biztosítaniuk kell a gyors, biztonságos menekülést, a hozzáférési ellenőrzést és az üzemeltetési hatékonyságot egyszerre. Ez gyakran kompromisszumot jelent a maximális mechanikai védelem és a mindennapi használhatóság között. A helyes megoldás rétegzett védelmi koncepciót követ – ahol a robbanásálló ajtó egy sor más intézkedéssel (védősánc, terelőfalak, belső zsiliprendszerek, elektronikus felügyelet) együtt adja meg a kívánt védelmi szintet.

Erőszakos (rendvédelmi) behatolások

A rendvédelmi szervek számára az erőszakos behatolás nem egy öncélú tevékenység, hanem operatív eszköztár, ami a veszélyhelyzetekben történő gyors, kontrollált bejutást biztosítja (mentés/ biztonsági intézkedés, elfogás, bizonyíték-mentés, /tárgyi bizonyítási eszközök megszerzése tűzmentés), ahol az idő, a végrehajtók biztonsága és a művelet célja a döntő. Emiatt a beavatkozó csapatok/egységek felkészítése és eszközparkja kulcsfontosságú – nemcsak azért, hogy a záródó szerkezeteket (nyílászárókat) megnyissák, hanem azért is, hogy azt a lehető legkisebb kockázattal, a környezet és a beavatkozott személyek biztonságát szem előtt tartva tegyék meg. A beavatkozás

módja – csendes ajtónyitás, agresszív kifeszítés/erőszakos nyitás, vágás vagy robbantás – befolyásolja az emberi életre, az épületre és a bizonyítékokra gyakorolt hatást, ezért a taktikai döntés alapja a gyors kockázatelemzés és az alkalmazható módszerek ismerete.

Felmerülhet a kérdés, hogy miért fontos az erőszakos behatolás a rendvédelemben? Nos a válasz egyszerű!

A végrehajtó egységek gyakran akkor érkeznek, amikor a körülmények nem engednek várakozást, hiszen egy tűszhelyzetnél percek is dönthetnek, valamilyen veszélyes anyag jelenléte esetén a gyors kiürítés a legfontosabb feladat, a gyanúsított bűnügyi előléte, várható viselkedése, eszközei (fegyverek) indokolják, de ide sorolhatjuk azokat a helyzeteket, amikor bűncselekményekkel kapcsolatos tárgyi bizonyítási eszközök megsemmisítése feltételezhető. Az ilyen helyzetekben a gyors, pontos és szabályozott bejutás életet menthet, ezért a rendvédelmi szervezetek felkészítése, eszközparkja és döntési protokolljai kulcsfontosságúak. Az, hogy mikor és hogyan avatkoznak be, mindig a beavatkozás céljának, a kockázatoknak és a rendelkezésre álló információnak a mérlegelésén múlik.

A választható módszerek skálája rendkívül széles, mivel a legegyszerűbb kézi eszközöktől a hidraulikus/feszítő eszközökön, szerkezeteken át a motoros vágóeszközökig és végső soron a célzott robbantásig terjed. A gyakorlatban alkalmazott technikák egymással kombinálhatók, és mindegyiknek megvannak az előnyei és korlátai is. A hidraulikus rendszerek precíz, nagy erőt adó megoldást kínálnak, amelyekkel a tokszárnykapcsolat kontrolláltan szétfeszíthető, így csökkentve a törmelék- és károkockázatot; üzemeltetésük viszont alá/fel támasztási és helyigénybeli feltételek biztosítását teszi szükségessé.

A motoros vágó- és darabolóeszközök gyors átvágást tesznek lehetővé fémrácsok, pántok vagy zárok esetén, de alkalmazásuk zajjal, szikraképződéssel és tűz- vagy gyúlékonysági kockázattal jár, ezért belső térben, veszélyes anyagok jelenlétében vagy zárt terekben korlátozottan használhatók.

A taktikai nyílászáró-robbantás a leghatékonyabb, de egyben a legveszélyesebb eszköz is, hiszen rendkívüli pontosságot, szakértelmet és jogi előkészítést igényel, és csak akkor mérlegelhető, ha minden más opció járhatatlan. A gyakorlat azt mutatja, hogy a legtöbb beavatkozás kombinált eljárásokkal – előfeszítéssel, majd vágással vagy

mechanikai bontással – éri el a kívánt eredményt, mert ez csökkenti az időt és a károkat egyaránt.

A módszer kiválasztását számos tényező befolyásolja. Ilyen lehet a nyílászáró anyaga és szerkezete, a tok falhoz való kapcsolata, a záruk száma és típusa, a művelet célja (életmentés és/vagy bizonyítékmegőrzés), a környezeti kockázatok (tűz, CBRN-veszély), valamint az erőforrások és a személyzet képzettsége.

Mindezeket a tényezőket a műveleti vezetőnek rövid idő alatt kell mérlegelnie. A döntés egyszerre taktikai, jogi és etikai kérdés, hiszen a beavatkozás következményei – személyi sérülés, épületkárok, bizonyítékok rongálódása – hosszútávú hatásokkal járhatnak.

A kockázatkezelés elengedhetetlen része a tervezésnek és végrehajtásnak. Egy jól előkészített beavatkozás tartalmazza a helyszíni felmérést, alternatív terveket, tűz- és mentőkészültség biztosítását és szerkezetek védelmét. A vezetői döntést támogató protokollok és ellenőrzőlisták segítik, hogy a csapat minimalizálja a kollaterális (járulékos) károkat¹⁶, miközben teljesíti a művelet célját. Fontos továbbá a beavatkozás utáni bünyügyi helyszínelési dokumentáció – fényképek, jegyzőkönyvek és technikai leírások – készítése, amelyek a jogi elszámoltathatóság és a szakmai visszacsatolás alapját képezik.

A tervezők és biztonsági szakemberek számára ez a gyakorlat olyan visszajelzést nyújt, amely befolyásolhatja a nyílászárók kialakítását. A többpontos záruk, acélmerevítések, megerősített tokfalcsatlakozások, rejtett pántolás és repeszálló üvegek mind késleltetik vagy megnehezítik az erőszakos behatolást, így növelik a védett létesítmény biztonságát. Ugyanakkor a túlzottan megerősített megoldások (pl. robbanásálló ajtó) növelhetik a mentés és kapcsolódó rendészeti munkák költségét és bonyolultságát, ezért a tervezésnek rétegzett, arányos védelmi koncepciót kell követnie.¹⁷

¹⁶ A célzott művelet (például rendőri behatolás, tűzszerész-beavatkozás vagy katonai akció) során nem a célpontként megjelölt személyekre vagy célra irányuló, véletlen vagy mellékhatásként fellépő károk. Azok a mellékhatások és károk, amelyeket a beavatkozás okoz a környezetnek, harmadik feleknek vagy az objektumnak, és amelyek nem a beavatkozás „közvetlen” célját szolgálják.

¹⁷ U.S. Department of Defense. (2020). UFC 4-026-01: Design to resist forced entry (pp. 1–122). Washington, DC: Department of Defense. pp. 104–107.

A 3D nyomtatás koncepcionális szerepe a robbantásos behatolások alternatíváinak vizsgálatában

A gyorsan fejlődő additív gyártási technológiák új lehetőségeket hoznak a honvédelmi¹⁸ és a rendvédelmi műszaki fejlesztésekbe.¹⁹ A könnyű, komplex belső geometriák előállíthatósága, az anyagok és szerkezetek testreszabhatósága olyan kutatási irányokat tett lehetővé, amelyek korábban csak elméletben voltak tárgyalhatók.

A 3D nyomtatás legfőbb előnye, hogy lehetővé teszi a helyben, azonnali igény szerinti gyártást, amely különösen értékes a műveleti, logisztikai és kiképzési környezetben. A módszer csökkenti az ellátási lánc sérülékenységet, és lehetővé teszi a speciális eszközök, alkatrészek vagy pótalkatrészek előállítását közvetlenül a bevetési helyszínen, jelentősen növelve a szervezetek reagálóképességét.

Az új gyártástechnikai eljárás mára a katonai haditechnikai fejlesztés és fenntartás integrált részévé vált. A világ számos haderejében folynak fejlesztések alkatrészpótlás, gyorsjavítás, drón- és robotrendszerek gyártása, valamint ideiglenes infrastruktúra-létesítés területén. A harctéri additív gyártóállomások koncepciója szerint a mobil 3D nyomtatólaborok a frontvonalhoz közeli logisztikai zónákban telepíthetők, lehetővé téve a sérült eszközök helyszíni javítását, pótalkatrészek előállítását és kisebb szerkezeti elemek gyors legyártását. Ennek a jelentőségét a rendvédelmi alkalmazhatóság esetében is kihasználhatjuk, hiszen az erőszakos behatolások kivitelezéséhez gyártott töltetházak akár a beavatkozás helyszínén is kivitelezhetők.

¹⁸ Daruka Norbert – Dénes Kálmán – Ember István – Kovács Zoltán Tibor – Vég Róbert László (2024): A 3D-nyomtatási technológia oktatásának lehetőségei és feltételei a műszakitiszt-képzésben. MŰSZAKI KATONAI KÖZLÖNY, 34 (1). pp. 5-18. ISSN 1219-4166. DOI:10.32562/mkk.2024.1.1

¹⁹ Végvári Zsolt – Hegedűs Ernő – Zentay Péter (2023): A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei I. rész. Haditechnika, 56(6), pp. 56–60. DOI: <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), pp. 49–55. DOI: <https://doi.org/10.23713/HT.57.1.09>

Zentay Péter – Hegedűs Ernő – Végvári Zsolt (2023b): A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei III. rész: A gyártási hibák hatásának mérséklése, hibakiküszöbölési megoldások. Haditechnika, 57(2), 57–62. DOI: <https://doi.org/10.23713/HT.57.2.11>

A rendvédelmi területek vonatkozásában az additív gyártástechnológia az utóbbi években fokozatosan átalakította a rendvédelmi beavatkozó egységek technikai hátterét. A korábban hosszadalmas gyártási folyamatokkal előállított, vagy nehezen beszerezhető eszközök ma már gyorsan, akár helyben is elkészíthetők, ami jelentős előnyt biztosít a változó feladatokhoz való alkalmazkodásban. Ennek a technológiának a lényege nem pusztán a költségcsökkentésben rejlik, hanem abban a rugalmasságban, amely lehetővé teszi, hogy a bevetésen szolgáló állomány saját gyakorlati tapasztalatai alapján formálja az eszközrendszert.

A beavatkozó csoportok felszerelése sokszor speciális kialakítást igényel. A fegyverekre, mellényekre vagy sisakokra rögzíthető tartók, adapterek, világítótestek vagy kamerák számára gyakran nincs megfelelő gyári megoldás, vagy ha van is, nem mindig illeszkedik a helyi eljárásokhoz. A 3D nyomtatás ebben a tekintetben új mozgásteret biztosít, a szükséges alkatrészek digitális terv alapján akár egyetlen nap alatt elkészülnek, majd a terepen szolgálók visszajelzéseivel finomíthatók. Ez különösen olyan egységek esetében hasznos, ahol az eszközök ergonómiája, gyors hozzáférhetősége vagy csendes működése a siker kulcsa lehet.

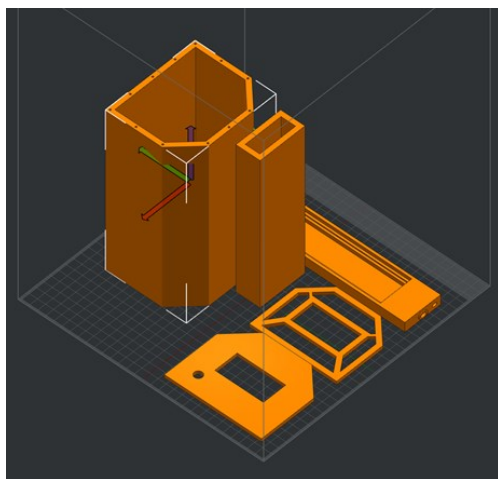
A technológia szerepe talán még látványosabb a drónos és robotikai feladatok területén. A rendvédelmi drónok nem egyszer egyedi kamerákat, érzékelőket vagy világítótesteket visznek, amelyek rögzítésére gyári megoldás általában nem létezik. 3D nyomtatással a drón vázához vagy burkolatához igazodó, célzott tartók és védőelemek készíthetők. Ugyanez igaz a földi robotokra, amelyek felderítésnél vagy tűzszerész-feladatoknál használt kiegészítői gyakran egyedi igények mentén születnek meg. Az olcsón előállítható alkatrészek a kiképzésben is előnyt jelentenek, mert a sérült elemek egyszerűen pótolhatók, így a gyakorlatok költsége alacsonyan tartható.

A művelettervezésben az additív gyártástechnológia egy kevésbé látványos, de stratégiaileg rendkívül hasznos szerephez jutott. A beavatkozások során gyakran számít, hogy a személyi állomány előre áttekintse a várható terepet vagy épületet. A digitális térképek mellett egyre nagyobb jelentősége van a fizikai maketteknek is, amelyek méretarányban mutatják meg a helyiségek elrendezését, a belépési pontokat vagy a potenciális akadályokat. Egy épület belső struktúrájának ilyen módon történő megjelenítése a túszermentési vagy erőszakos behatolási tervek előkészítésében különösen előnyös.

A műveletek tervezésén kívül a képzésben, kiképzésben szintén új távlatokat nyit a technológia. Gyakorlófegyverek, oktatómakettek, robbanószerkezetek szemléltető eszközei vagy modulárisan összeállítható elemek, esetleg akadályok mind nyomtathatók, így a kiképzés realisztikusabbá és költséghatékonyabbá válik. A 3D nyomtatott elemek révén könnyebb olyan helyzeteket is modellezni, amelyek a valóságban nehezen vagy veszélyesen hozhatók létre.

Ahogy a honvédelem területén is, a rendvédelmi feladatellátás során megjelenő javítási igények kielégítésének lehetősége szintén gyakorlati értéket jelentenek. A bevetéseken gyakran sérülnek kisebb alkatrészek, például csatok, rögzítők, szerelékek vagy kameratartók. Ezeket korábban hosszú beszerzési folyamat után lehetett csak pótolni, ma viszont egy 3D nyomtatóval akár aznap elkészíthetők a szükséges elemek – akár a helyszínen is –, biztosítva, hogy az adott műveletre ne kelljen hiányos felszereléssel készülni.

A kriminalisztikai terület sem maradt ki a technológiai fejlődésből. Napjainkban a nyomozók számára készülhetnek speciális sablonok, vizsgálati segédeszközök, bűnjelek rögzítéséhez szükséges tartók vagy komplett tárgyrekonstrukciók. Egy törött eszköz hiányzó darabját a nyomtatás gyakran hatékonyabban pótolja, mint a hagyományos módszerek, ami elősegíti az elemzést vagy a szemléltetést.



10-11. számú ábra. 3D nyomtatáshoz tervezett térbeli modell és a gyártástechnológiai kivitelezés²⁰

²⁰ Forrás: Szalkai László NKE KMDI doktorandusz 3D nyomtatáshoz tervezett térbeli modellje. A szerző felvételei.

A bevetési egységek esetében már említettük a speciális kialakítású robbanótesteket. Ide tartozik az 3D nyomtatással kialakított töltetház is, amelynek megtervezése, méretezése, gyártása és az alkalmazhatósági vizsgálatai is a szerzők tudományos munkásságának eredményeiben realizálódnak.

Kiemelkedő jelentőséggel bírnak az úgynevezett kettős felhasználású vagy többcélú termékek, amelyek katonai, rendvédelmi és civil környezetben egyaránt alkalmazhatók. Ide sorolhatók például a formázott vagy vágótöltetek alkatrészei, amelyek katonai vagy tűzszerészeti felhasználás mellett ipari bontási, robbantási és műszaki mentési feladatokhoz is alkalmasak.²¹

Ezek a fejlesztések különleges előnnyel járnak, mivel egyfelől biztonsági szempontból ellenőrzött, kísérleti környezetben tesztelhetők, másfelől civil alkalmazásuk révén gazdasági szempontból is fenntarthatóbbá tehetik a védelmi innovációt. A kettős felhasználású megközelítés így nem csupán technológiai, hanem stratégiai jelentőségű, hiszen elősegíti a katonai és civil szféra közötti tudástranszfert, valamint növeli a fejlesztések társadalmi hasznosulását.

A 3D nyomtatás a rendvédelmi beavatkozó egységeknél tehát nem pusztán egy technikai újdonság, hanem olyan eszköztár, amely képes igazodni a valós feladatokból fakadó, gyorsan változó igényekhez. A rugalmas gyártási lehetőség, az egyedi felszerelések testre szabhatósága és a gyors prototípus-készítés együttesen olyan előnyt ad, amely a modern bevetési kultúrában stratégiai értéket képvisel. Ezek az additív gyártástechnológiai eljárással készített termékek nemcsak gyorsabbak és költséghatékonyabbak, de lehetővé teszik az ergonómiai és taktikai szempontok pontos figyelembevételét is.

²¹ Ádám Balázs – Ember István (2022): Béléstestek készítésének technikai lehetőségei alacsony sűrűségű anyagból. Műszaki Katonai Közlöny, 32(4), pp. 101–111. DOI: <https://doi.org/10.32562/mkk.2022.3.6>

Ember István (2023a): Additív gyártástechnológia alkalmazási lehetőségei vágótöltet készítésére. In Szelei, Ildikó (edt.): A hadtudomány és a 21. század. Budapest: Colorcom Media, pp. 9–15.

Ember István (2023b): Additív eljárással készült lineáris vágótöltetek működésének vizsgálata. Hadmérnök, 58(3), pp. 5–17. DOI: <https://doi.org/10.32567/hm.2023.3.1>

A robbantási feladatok környezeti és biztonsági sajátosságai

A robbantási feladatok végrehajtása összetett művelet, amelynek sikerét és biztonságát egyaránt meghatározza a környezet jellege, a tér fizikai tagoltsága és az épített környezet szerkezeti tulajdonságai. A robbanás hatásai ugyanis nem csupán a robbanóanyag mennyiségétől, hanem attól is függnnek, milyen környezetben következik be a detonáció. Egy sűrűn beépített városi terület, egy zárt tér vagy egy nyílt, szabad terület egymástól gyökeresen eltérő fizikai viszonyokat teremt. Mindezek alapvetően befolyásolják a robbantási feladat tervezését, a biztonsági távolságok meghatározását, valamint a végrehajtás módját.

A biztonsági távolság megállapítása minden esetben az egyik legfontosabb lépés. Ennek elsődleges tényezője a felhasznált robbanóanyag nettó tömege. Minél nagyobb a töltet energiája, annál erősebb a lökéshullám, a roncsolóhatás és a keletkező repeszek mozgási energiája, így a védőtávolságot is arányosan növelni kell. A biztonságos távolság megválasztása tehát nem pusztán előírás, hanem a személyi és anyagi veszteségek megelőzésének egyik alapfeltétele.

A felhasznált robbanóanyag mennyiségét ugyanakkor nagymértékben meghatározza az ajtó vagy nyílászáró típusa, az épület szerkezeti jellemzői és az alkotóelemek fizikai tulajdonságai. Más mennyiségű és típusú töltet szükséges egy acélmegerősítésű páncélozott ajtóhoz, mint egy fa- vagy alumíniumszerkezet esetében. A nyílászárók anyagának és vastagságának ismerete azért kulcsfontosságú, mert a robbanás másodlagos hatásai – különösen a repeszek mozgása – eltérő repülési távolságot és átütőerőt eredményezhetnek. Az ebből adódó kockázatok különösen zárt terekben fokozottak, hiszen a falak, mennyezetek és egyéb szerkezeti elemek visszaverik a lökéshullámokat, és a repeszhatás többszörösen érvényesül.

A zárt térben végrehajtott robbantások esetén a tervezés még precízebb előkészítést igényel. Ilyen környezetben a robbanás során keletkező égéstermékek és füstgázok magas koncentrációja komoly veszélyt jelenthet a beavatkozóállományra, míg a másodlagos repeszhatás kiszámíthatatlan irányokba terjedhet. A bevetés vagy műveleti feladatvégrehajtás biztonságát ilyenkor csak a robbanási paraméterek szigorú ellenőrzésével, valamint a megfelelő védőeszközök és fedezékek használatával lehet garantálni.

A személyi védelem tekintetében kiemelt szerepe van a ballisztikai védőeszközöknek, mint a robbanás hatásait csökkentő ballisztikai takaróknak vagy lövedékálló pajzsoknak. Ezek hatékonyan mérséklik a repeszek által okozott sérüléseket és a lökéshullám hatásait. A bevetési egységeknek minden esetben törekedniük kell a fizikai fedezékek kihasználására, legyen az egy épület sarka, egy lépcsőforduló, egy falrész vagy egy másik természetes akadály. Amennyiben a környezet nem biztosít elegendő fedezéket, mobil védőeszközöket kell alkalmazni – például ballisztikai pajzsokat, hordozható falpaneleket vagy egyéb szükségmegoldásokat. Fontos megjegyezni, hogy az időjárási tényezők – mint a szél, az eső, a hőmérséklet vagy a páratartalom – általában elhanyagolható mértékben befolyásolják a robbantási feladat végrehajtását.

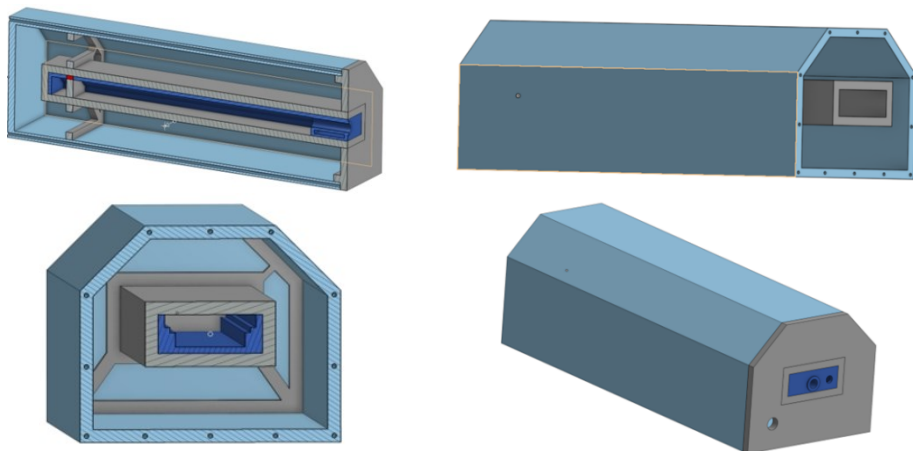
A robbantással történő erőszakos nyitás több előnnyel jár, mint a hagyományos mechanikai vagy hidraulikus módszerek. Először is, a robbantás pillanatában a beavatkozóállomány biztonságos távolságban, fedezék mögött helyezkedhet el, így a személyi sérülés kockázata minimális. Másodszor, a robbanás hang- és fényhatása, valamint a keletkező lökéshullám pszichológiai előnyt biztosít, mivel az ellenfél néhány másodperces sokkhatás alá kerül, ami növeli a műveleti egység sikerének esélyét. Harmadrészt, a robbantásos ajtónyitás időben gyakorlatilag azonnali, így megszűnik az a reakcióidő, amelyet az ellenfél egy mechanikai nyitás során védekezésre vagy támadásra fordíthatna. Nemzetközi szinten ilyen jellegű nyitásokra különböző hatékonyságú nyitó löszereket is kifejlesztettek már.²²

Mindezek ellenére a módszer nem alkalmazható univerzálisan. A robbanás primer (lökéshullám), szekunder (repeszhatás) és terciér (szerkezeti roncsolás) hatásai bizonyos környezetekben – különösen sűrűn beépített lakóterületeken – aránytalan károkat okozhatnak. A művelet előkészítésekor ezért mindig mérlegelni kell, hogy a robbantás hatása ne haladja meg az elérni kívánt célt, és ne okozzon indokolatlan veszélyt a civil környezetben vagy a beavatkozóállományban.

A világ számos országában működő speciális rendvédelmi és katonai egységek kiterjedt tapasztalattal rendelkeznek a nyílászárók robbantásos megnyitása terén. Ezek az egységek folyamatosan fejlesztik eljárásaikat, a gyakorlatban szerzett tapasztalataik alapján pedig pontosítják a robbanóanyagok adagolását, az optimális elhelyezés módját

²² Healey, G. (2021). Door-breaching grenade design and directed blast applications. Global Defence Technology, September 2021. Defence Science and Technology Laboratory.

és a biztonsági távolságokat. E tapasztalatok összegzése és adaptálása alapvetően hozzájárulhat a hazai robbantási gyakorlat korszerűsítéséhez, különösen a rendvédelmi és katonai különleges műveleti feladatok területén.



12-15. számú ábra. Töltetház kialakítása²³

A szerző (Szalkai László) által fejlesztett töltetház létrehozásának a célja, hogy a magas biztonsági fokozatú ajtók robbantással történő kinyitásának kivitelezése rövid idő alatt megvalósítható legyen.

Az ábrán látható, hogy a töltetház úgy került kialakításra, hogy a robbanóanyag a töltetház közepén helyezkedik el, és azt egy tölthető tér veszi körül. Erre azért van szükség, mert ez ad lehetőséget a folyadékkal (vízzel, hidro-géllal), illetve egyéb megfelelő fizikai tulajdonságokkal rendelkező anyagokkal történő feltöltéshez. Felmerülhet a kérdés, hogy erre miért van szükség? Nos a válasz egyszerű.

A robbanóanyag viselkedése jelentősen megváltozik, ha nem levegőben, hanem vízben vagy valamilyen vízbázisú gélben következik be az energiaszabadulás. A robbanás pillanatában felszabaduló gázok, hő és mechanikai erők útját ugyanis alapvetően meghatározza az a közeg, amely körülveszi az anyagot. Míg a levegő engedi a gázokat gyorsan tágulni, addig a víz és a hidro-gél szinte azonnal ellenállást fejt ki, így más jellegű és kiterjedésű hatások érvényesülnek.

²³ Forrás: Szalkai László NKE KMDI doktorandusz által tervezett töltetház. A szerző saját felvétele.

A robbanás első és legjellemzőbb jelensége a lökéshullám kialakulása. Levegőben a táguló gázok hirtelen energialökést adnak át a környezetnek, ami jól hallható, hosszabb távra terjedő robbanási hanggal jár. Ezzel szemben vízben a nyomáshullám sokkal erőteljesebben indul, mert a víz sűrűbb és kevésbé összenyomható, mint a levegő. A hullám csúcsnyomása jóval nagyobb lehet, ugyanakkor gyorsabban le is cseng, mert a közeg hatékonyabban vezeti és nyeli el az energiát. A felszín felett ebből alig hallani valamit, mivel a víz a hang nagy részét magában tartja, ezért a robbanás hangja kívülről tompa vagy szinte észrevétlen marad.

A második lényeges különbség a repeszek viselkedésében figyelhető meg. Amikor egy robbanás levegőben történik, a repeszek akadálytalanul indulnak útjukra, nagy sebességgel és sokszor több tíz vagy több száz méteres hatótávval. A víz azonban már az indulás pillanatában lefékezi őket. A közeg sűrűsége miatt a repeszek mozgása néhány méteren belül szinte teljesen elveszíti a kezdeti energiáját. Hidro-gélben ez a fékező hatás még erőteljesebb, mert a gél viszkózusabb szerkezete szó szerint „ráül” a mozgó darabokra, így azok hamarabb megállnak. Emiatt válhatnak a vízzel vagy géllal körülvett robbanások különösen alkalmassá arra, hogy csökkentsék a repeszhatást például robbantásos nyílászáró nyitási beavatkozás során.

A hőhatások „tűzgömb” kialakulása ennél a töltetház kialakításnál szintén eltér a levegőbeli robbanásokétól. A robbanóanyag égése során létrejövő több ezer fokos hő levegőben akadálytalanul terjed a forró gázokkal együtt, gyakran másodlagos tüzet is okozva. A víz ezzel szemben kiváló hőelnyelő közeg, hiszen a hirtelen keletkező hőt azonnal átveszi, ami a robbanás környezetében gyors hőmérséklet-egyenlítődést eredményez. A forró gázok nem tudnak szétáramlani, hanem buborékot hoznak létre, amely rövid időn belül tágul, majd összeomlik. A jelenség inkább mechanikai, mint hőjellegű következményekkel jár. Hidro-gélben ugyanez a folyamat még „szelídebben” játszódik le, mert a gél szerkezete lassabban engedi mozogni a gázokat, így a hirtelen felmelegedés még kevésbé jut el a környezetbe.

A három hatás – a hanghullámok csillapítása, a repeszek lefékezése és a hőhatások semlegesítése – együtt jelenti azt, hogy a vízzel vagy hidro-géllal körülvett robbanóanyag sokkal kevésbé veszélyes a környezetére, mint a szabad levegőn detonáló töltet. Emiatt alkalmazható a víz vagy gélalapú rendszer, amelyek célja nem a robbanás teljes megakadályozása, hanem annak kontrollált levezetése. A töltetházban lévő robbanóanyag detonációját követően az azt körülvevő folyadék

vagy gél csökkenti a repesz-, a hő-, illetve a hanghatást, mindezt úgy, hogy a robbanási energia a nyílászáró felületére koncentrálódik és azon fejt ki a toló (ütő) és nem a romboló hatását. Mit is jelent ez a gyakorlatban? A beavatkozóegység és a robbantani kívánt nyílászáró közötti biztonsági távolság nagymértékben csökkenthető, ami elősegíti a még gyorsabb bejutást az adott területre. A külső és a belső térben sem kell jelentős repeszhatással számolni, ami nem csak a beavatkozó egységet segíti, de a célterületen tartózkodó személyek se kerülnek veszélybe a repeszek által.

Kijelenthető tehát, hogy a töltetház kialakítása jelentős mértékben hozzájárul a beavatkozó egységek tevékenységének gyorsabb és biztonságosabb támogatásához.²⁴

Magyarországon a védelmi szervezeteknél alkalmazott eljárások és eszközök eltérhetnek egymástól, ami elsősorban az eltérő felhasználási környezetből, célrendszerből és jogi keretektől fakad. Mindazonáltal közös alapelv, hogy a robbantás során nem okozható aránytalan kár, és nem veszélyeztethető sem a civil lakosság, sem a műveletben részt vevő állomány. Ez az etikai és szakmai alapvetés minden fejlett rendvédelmi és katonai szervezet gyakorlatában megjelenik, és a modern robbantási eljárások fejlesztésének egyik vezérelve.

Robbantással végrehajtott nyílászárónyitás

A nyílászárók robbantással történő megnyitása a rendvédelmi és katonai műveletek egyik leghatékonyabb, ugyanakkor legnagyobb szakmai precizitást igénylő eljárása. Alkalmazására elsősorban olyan helyzetekben kerül sor, ahol a gyors bejutás kritikus jelentőségű – például életmentő, tűzmentő vagy különleges műveleti beavatkozások során –, illetve ahol a hagyományos mechanikai vagy hidraulikus módszerek alkalmazása a környezet, a célfelület vagy az időkorlát miatt nem lehetséges. A robbantásos nyitás alapelve, hogy a nyílászáró szerkezetét nem teljes roncsolással, hanem célzott, irányított energiabevittel választja le a tokjáról, vagy hozza létre a szükséges nyílást.

²⁴ A kísérleti robbantások végrehajtás mindezek igazolására jelenleg is folyamatban vannak! A kísérleti robbantások végrehajtásához a NIVO Csoport Korlátozott Felelősségű Társaság biztosítja a biztonsági ajtókat. A cégről bővebb információ érhető el www.nivo.hu weboldalon.

A hatékony és biztonságos robbantási eljárás tervezésének fő akadálya az, hogy a hagyományos töltetek előkészítése időigényes, a felhelyezésük sok esetben bonyolult rögzítést igényel, a felhasznált eszközök pedig jelentős repesz-, hő- és hanghatással járnak. A jelen fejlesztés célja éppen ezen korlátok áthidalása úgy, hogy olyan új, gyorsan alkalmazható, terepi körülmények között is biztonságos és minimalizált járulékos hatású töltetrendszer megalkotásával, amely nagymértékben csökkenti a személyi állomány kitettségét és a környezet roncsolását.

A prototípus alapját egy 3D nyomtatással előállított, moduláris kazettaszerkezet képezi, amely lehetővé teszi a robbanóanyag célirányos – főként tolójellegű – hatásának a nyílászáró felületére történő koncentrálását. A kazetta tervezésénél elsődleges szempont volt a támogatásmentes összeszerelhetőség, tehát hogy a felhelyezés ne igényeljen külön rögzítő- vagy támasztókereteket, amelyek korábban jelentős időráfordítást és kezelői kockázatot jelentettek. A komponensek illesztése és a kazettafelületre történő rögzítése speciális kétoldalas ragasztószalaggal történik, igény esetén 3D nyomtatott tapadásfokozó felületek alkalmazásával.

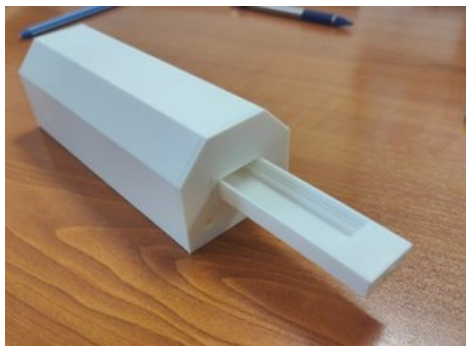
A robbanóanyag elhelyezése és stabilizálása a kazettán belül kétkomponensű, trixotróp-jellegű kitöltőanyaggal történik, amely a Kugyela Lóránd PhD által fejlesztett anyagon alapul. A komponensek 1:1 arányú összekeverését követően rövid időn belül szilárdszerű állapotot vesz fel, így a töltet helyzeti stabilitása helyszíni körülmények között is megbízhatóan biztosítható. A trixotróp kitöltőanyag alkalmazása számos előnnyel jár, hiszen egyrészt kiegyenlíti a töltet környezeti terhelését, másrészt csökkenti a robbanás során keletkező repesz-, hang- és hőhatásokat, mivel a gélalapú közeg nagymértékben elnyeli és irányítja a felszabaduló energiát.



16. számú ábra. Többkomponensű „tixotróp” robbanóanyag ²⁵

²⁵ Daruka Norbert – Kugyela Lóránd – Ember István (2025): Többkomponensű robbanóanyag és alkalmazásának lehetőségei I. rész. Haditechnika 59 (4), 50–55.

A kazetta szerkezetében kialakított megerősítő elemek – például a hosszirányú többpontos filament-betétek – biztosítják, hogy a robbanás során a kazettatest kontrolláltan viselkedjen, és a robbanási impulzus elsősorban a nyílászáró irányába adódjon át.



17. számú ábra. 3D nyomtatással kialakított töltetház összeállított prototípusa²⁶

A detonátortálca kialakítása lehetővé teszi a nonel (non electric – nem elektromos) rendszer biztonságos csatlakoztatását, ahol a gyújtóelem legalább 30 mm hosszban érintkezik a robbanóanyaggal, így biztosítva a lökéshullám megbízható kialakulását.

A kazetta összeszerelése minimális időráfordítást igényel, és kizárólag a személyi védőfelszerelések, valamint a kazetta elemei szükségesek hozzá. Ez nemcsak jelentősen lerövidíti az előkészítési időt, hanem drasztikusan csökkenti a kezelőszemélyzet terepi kitettségét, különösen ellenséges környezetben vagy zárt térben végrehajtott műveleteknél.

A robbantásos nyílászárónyitás új rendszerének legfontosabb előnyei:

- *Minimális repeszhatás:* a gélalapú közeg miatt a repeszek energiája gyorsan lecseng, így a másodlagos sérülések veszélye csökken.
- *Csökkentett hang- és fényhatás:* a folyadékszerű közeg lényegében „elnyeli” a robbanás akusztikus energiáját, ami városi környezetben jelent biztonsági előnyt.
- *Nagy pontosságú energiakoncentráció:* a robbantás tolóhatása a kazettán keresztül az ajtó kritikus gyenge pontjára (zárnyelv, pántoldal, középső merevítés) irányítható.

²⁶ Forrás: Szalkai László felvétele.

- *Gyors alkalmazhatóság*: a helyszíni előkészítési idő minimális, ami reaktív beavatkozásoknál különösen jelentős.
- *Csökkentett járulékos kockázat*: az energiairányítás a nyílászáró felületére fókuszál, így kisebb az épületben, vagy a bent tartózkodóknál okozott kár.
- *Modularitás és méretezhetőség*: a kazetta előzetes helyszíni felmérést követően tetszőleges ajtótípushoz igazítható.

A kifejlesztett robbantókazetta egy olyan modern, additív gyártástechnológiára épülő eszköz, amely új minőséget jelent a rendvédelmi és katonai beavatkozások támogatásában. A tervezési koncepció figyelembe veszi a robbanásfizikai, biztonsági, ergonómiai és taktikai szempontokat, és olyan megoldást kínál, amely csökkenti a beavatkozás kockázatait, gyorsítja a művelet végrehajtását és növeli a kezelőállomány biztonságát. A prototípus alkalmazása várhatóan jelentős előrelépést hoz a hazai és nemzetközi robbantásos nyílászárónyitási gyakorlatban is.

Összefoglalás

A 3D nyomtatás mára mindennapivá vált, és az elmúlt években dinamikus fejlődést mutatott. Alacsony fenntartási költségei és egyre növekvő pontossága következtében a technológia már nem csupán ipari és kutatói környezetben alkalmazott eszköz. A korszerű berendezések gyorsabb, precízebb és költséghatékonyabb gyártást tesznek lehetővé, ami versenyelőnyt biztosít a termékfejlesztésben.

Az alapanyagok sokfélesége, továbbá a kompozitok és bioprinting-anyagok megjelenése szinte korlátlanra teszi a lehetséges alkalmazásokat. A digitális modellezés és generatív tervezés révén olyan geometriai megoldások hozhatók létre, amelyek korábban gyártástechnológiai okokból nem voltak kivitelezhetők. Az additív gyártás a kutatás-fejlesztésben, az oktatásban, illetve a rendvédelem területén is jelentős új lehetőségeket nyitott.

Publikációnkban az additív gyártástechnológia által biztosított lehetőséget a zárfeltörési technikák és az ajtórobbantó eszközök vizsgálatára használtuk. A technológia lehetővé tette pontos, élethű modellek előállítását, illetve különböző behatolási módszerek elemzését. Ez a

megközelítés költségcsökkentést és biztonságosabb kísérleti környezetet eredményezett. A 3D nyomtatás és az azt kiegészítő automatizálási, valamint mesterséges intelligencia (MI) -megoldások további távlatokat nyithatnak a jövőben.

Felhasznált irodalom

Ablakos.hu. (n.d.). *HVI – A Hevestherm védelmi index rendszere*. Online: https://www.ablakos.hu/ablakoshu-aktualitasok/hvi/21330/?utm_source=chatgpt.com

Ajtó Specialista (n.d.): <https://tuzgatloajtospecialista.hu/robbanasbiztos-egy-es-ketszarnyu-nyilokapuk/>

Ádám Balázs – Ember István (2022): Béléstestek készítésének technikai lehetőségei alacsony sűrűségű anyagból. *Műszaki Katonai Közlöny*, 32(4), pp. 101–111. DOI: <https://doi.org/10.32562/mkk.2022.3.6>

Daruka Norbert – Dénes Kálmán – Ember István – Kovács Zoltán Tibor – Vég Róbert László (2024): A 3D-nyomtatási technológia oktatásának lehetőségei és feltételei a műszakitiszt-képzésben. *MŰSZAKI KATONAI KÖZLÖNY*, 34 (1). pp. 5-18. ISSN 1219-4166. DOI: <https://doi.org/10.32562/mkk.2024.1.1>

Daruka Norbert – Kugyela Lóránd – Ember István (2025): Többkomponensű robbanóanyag és alkalmazásának lehetőségei I. rész. *Hadi-technika* 59 (4), 50–55.

Ember István (2023a): Additív gyártástechnológia alkalmazási lehetőségei vágótöltet készítésére. In Szelei, Ildikó (edt.): *A hadtudomány és a 21. század*. Budapest: Colorcom Media, pp. 9–15.

Ember István (2023b): Additív eljárással készült lineáris vágótöltetek működésének vizsgálata. *Hadmérnök*, 58(3), pp. 5–17. DOI: <https://doi.org/10.32567/hm.2023.3.1>

Ezermester (n.d.): https://ezermester.hu/cikk6528/Lakasok_bejarati_ajtoinak_vedelme

FERER (n.d.): <https://ferer.hu/robbanasbiztos-ajto/>

Healey, G. (2021). Door-breaching grenade design and directed blast applications. *Global Defence Technology*, September 2021. Defence Science and Technology Laboratory. Source: https://defence.nri-digital.com/global_defence_technology_sep21/door_breaching_grenade

HISEC ajtó (n.d.): <https://hisec-ajto.hu/webshop/ajto-festese/selyem-fenyu/modern-selyemfenyu-aranytolgy-hisec-biztonsagi-acel-bejarati-ajto/>

Jószaki (n.d.): <https://joszaki.hu/inspiracio/ablak-ajto/a-bejarati-ajto-biztonsagat-es-megjeleneset-is-emelhetjuk-egy-esztetikus-racccsal>

Lupoae M. – Cotovanu A. – Casapu A.-C. – et all. (2025). Experimental investigations on explosive breaching mechanisms for exterior metal doors and explosive effects on room occupants. *International Journal of Protective Structures*. DOI:

<https://doi.org/10.1177/20414196251378664>

Magyar Szabványügyi Testület. (2012). *MSZ EN 1627:2012 Ajtók, ablakok, függönyfalak, rácsok és redőnyök. Betörésállósági osztályozás. Követelmények és vizsgálati módszerek*. Budapest: Magyar Szabványügyi Testület.

NOVOFORM (n.d.): <https://www.novoform.hu/termekek/ajtok-es-to-kok/tuzgatlo-acel-ajtoelemek/novoporta-premio-vastag-falcos-tuzgatlo-acel-ajtoelemek/>

U.S. Army Engineer Research and Development Center. (2023). Blast, ballistic, and forced-entry-resistant operable windows and doors. ERDC Innovations. Source: <https://www.erdinnovation.org/technology/blast-ballistic-and-forced-entry-resistant-operable-windows-and-doors>

U.S. Department of Defense. (2020). UFC 4-026-01: Design to resist forced entry (pp. 1–122). Washington, DC: Department of Defense. Source:

https://www.wbdg.org/FFC/DOD/UFC/ufc_4_026_01_2020.pdf

Végyári Zsolt – Hegedűs Ernő – Zentay Péter (2023): A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei I. rész. *Haditechnika*, 56(6), pp. 56–60. DOI: <https://doi.org/10.23713/HT.56.6.09>

Zentay Péter – Hegedűs Ernő – Végyári Zsolt (2023a): A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei II. rész: 3D-s nyomtatott alkatrészek mechanikai tulajdonságai minőségjavításának lehetőségei. *Haditechnika*, 57(1), pp. 49–55. DOI: <https://doi.org/10.23713/HT.57.1.09>

Zentay Péter – Hegedűs Ernő – Végyári Zsolt (2023b): A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei III. rész: A gyártási hibák hatásának mérséklése, hibakiküszöbölési megoldások. *Haditechnika*, 57(2), 57–62. DOI: <https://doi.org/10.23713/HT.57.2.11>