



3D nyomtatással készült robbantó kazetta alkalmazhatóságának vizsgálata biztonsági ajtók rombolására

Experimental Assessment of a 3D-Printed Explosive Cartridge for Breaching Security Doors

¹Daruka Norbert, ²Szalkai László

¹Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Robbantástechnikai szakmérnök/szakember szakirányú továbbképzés, képzésvezető, Budapest, Magyarország, ORCID: 0000-0002-7102-1787. E-mail: daruka.norbert@bgk.uni-obuda.hu

²Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Katonai Műszaki Doktori Iskola, doktorandusz hallgató, Budapest, Magyarország, ORCID: 0000-0002-4843-4591. E-mail: szalkai.laszlo81@gmail.com

Összefoglalás

A tanulmány egy 3D nyomtatással készült, egyedi tervezésű robbantó kazetta kísérleti vizsgálatának eredményeit mutatja be, amelynek célja egy MABISZ 3. kategóriájú, EN 1627 szabványnak megfelelő biztonsági ajtó robbantásos feltörésének elemzése volt. A kísérlet során alkalmazott robbanóanyag-mennyiség, a töltetház kialakítása, valamint a rögzítési megoldások hatását vizsgáltuk. A kísérlet tapasztalatai alapján az eszköz konstrukciós és alkalmazástechnikai továbbfejlesztési irányai kerülnek meghatározásra, különös tekintettel a tömegcsökkentésre, az adagolhatóságra és a különböző ajtótípusokhoz való optimalizálásra.

Kulcsszavak: robbantásos ajtónyitás, 3D nyomtatás, robbantó kazetta, biztonsági ajtó, kísérleti vizsgálat.

Abstract

The study presents the results of experimental testing of a uniquely designed explosive cartridge produced using 3D printing, the purpose of which was to analyze the explosive breaking of a MABISZ category 3 security door compliant with the EN 1627 standard. The experiment examined the effect of the amount of explosive used, the design of the charge housing, and the fastening solutions. Based on the results of the experiment, directions for further development of the device in terms of construction and application technology will be determined, with particular emphasis on weight reduction, dosing capability, and optimization for different door types.

Keywords: explosive door opening, 3D printing, explosive cartridge, security door, experimental testing.

1 Bevezetés

A robbantásos ajtónyitás a katonai és rendészeti műveletek során olyan speciális képesség, amely elsősorban időkritikus helyzetekben, megerősített vagy biztonsági követelményeknek megfelelő nyílászárók esetén kerül alkalmazásra. Az ilyen műveletek sikeressége nem kizárólag a

felhasznált robbanóanyag jellemzőin múlik, hanem legalább ilyen mértékben befolyásolja azt a töltet geometriai kialakítása, tömege, rögzíthetősége, valamint az alkalmazás körülményei.

A korszerű biztonsági ajtók – különösen az EN 1627 szabvány szerinti minősítéssel rendelkező szerkezetek – kifejezetten a mechanikai behatásokkal, kézi szerszámokkal végrehajtott behatolások kivédésére készülnek. Ennek következtében a hagyományos, nem robbantásos ajtónyitási eljárások számos esetben nem biztosítanak megfelelő hatékonyságot, vagy alkalmazásuk aránytalanul hosszú időt vesz igénybe. A rendvédelmi feladatokat ellátó, (speciálisan kiképzett rendvédelmi egységek) számára a robbantásos eljárások kontrollált és gyors megoldást jelenthetnek, abban az esetben, ha a robbantás paraméterei optimálisan – a lehető legkisebb méretre – vannak kalkulálva.

Az utóbbi években az additív gyártástechnológiák – ezen belül a 3D nyomtatás – megjelenése új lehetőségeket nyitott a robbantástechnikai eszközök fejlesztésében [1]. A technológia lehetővé teszi egyedi geometriák kialakítását, a belső szerkezetek rugalmas módosítását, valamint a gyors prototípusgyártást, ami különösen előnyös kísérleti és fejlesztési célú alkalmazások során. Ennek köszönhetően rövid idő alatt több konstrukciós változat is tesztelhető, ami a gyakorlati tapasztalatok visszacsatolását jelentősen felgyorsítja. [2]

A 3D nyomtatással készült robbantó eszközök valós körülmények közötti alkalmazhatóságáról viszonylag kevés gyakorlati tapasztalat és nyilvánosan hozzáférhető szakirodalmi adat áll rendelkezésre. Kérdéses többek között a nyomtatott töltetház mechanikai viselkedése, a rögzítés megbízhatósága, a robbanóanyag elhelyezésének hatása a rombolóhatásra, valamint az, hogy a környezeti tényezők – például alacsony hőmérséklet vagy magas páratartalom – milyen mértékben befolyásolják az alkalmazhatóságot.

A tanulmány célja egy 3D nyomtatással készült robbantó kazetta kísérleti alkalmazásának vizsgálata minősített biztonsági ajtókon végrehajtott robbantások alapján. A vizsgálat során kiemelt figyelmet kapott a töltet méretezésének megfelelősége, a töltetház kialakításának gyakorlati használhatósága, valamint a rögzítési megoldások működőképessége valós környezeti feltételek mellett. A kísérlet tapasztalatai alapján az eszköz továbbfejlesztését célzó konstrukciós és alkalmazástechnikai javaslatok kerülnek megfogalmazásra.

A vizsgálat hosszabb távú célja olyan robbantó kazetták kialakítása, amelyek egyrészt univerzális módon alkalmazhatók különböző ajtótípusok esetén, másrészt lehetőséget biztosítanak ajtóspecifikus rombolások végrehajtására is. Ez hozzájárulhat a robbantásos ajtónyitási hatékonyságának növeléséhez, a szükséges robbanóanyag-mennyiség csökkentéséhez, valamint az alkalmazás biztonságának javításához.

2 A kísérlet körülményei és módszertana

Az egyedi tervezésű ARK – Ajtó Robbantó Kazetta, tervezési paraméterei, illetve additív gyártástechnológiával történő gyártásának lépései nem képezik a tanulmány részét, azokat a tervező korábbi publikációból lehet megismerni [3][4]. A fő célkitűzés az ARK gyakorlati alkalmazhatóságának értékelése volt biztonsági ajtó rombolására. A kísérlet során a hangsúly nem kizárólag a rombolóhatás megfigyelésén volt, hanem a teljes rendszer – a töltetház, a robbanóanyag, valamint a rögzítési megoldások – együttműködésének vizsgálatán.

A robbantás 2025. őszén, szabadtéri környezetben, a CerTrust Vizsgáló és Tanúsító Korlátolt Felelősségű Társaság robbantókertjében került végrehajtásra. Az időjárási körülmények nem voltak kedvezőnek nevezhetők a kísérlet idején, mivel az átlagos hőmérséklet megközelítőleg +2-4 °C, az idő csapadékos és párás volt. Ezek a környezeti tényezők szándékosan nem kerültek kizárásra, mivel a vizsgálat célja az eszköz valós alkalmazási körülményekhez közeli tesztelése volt, beleértve azokat a helyzeteket is, amelyek az operatív alkalmazás során gyakran előfordulhatnak.

A vizsgálat tárgyát MABISZ 3. kategóriájú, EN 1627 szabványnak megfelelő biztonsági ajtók

képezték. Ezek az ajtók fém alap-szerkezetűek, mindkét oldalán pozdorja borítással, tömege megközelítőleg 150 kg. Az ajtókhoz tartozó zárszerkezet többirányú reteszeléssel rendelkezik ezeknél a típusoknál, vagyis a záró oldalon vízszintes elrendezésű, nagy szilárdságú acél rudak, valamint felül és alul záródó, vertikális irányú rudazat biztosítja a zárást. Az ajtók kiválasztása során szempont volt, hogy a szerkezetek jellemzők legyenek a korszerű, megerősített nyílászárókra, így a kísérlet eredményei általánosabb következtetések levonására is alkalmasak legyenek.



1. ábra ARK-300 és ARK-130 szerelt állapotban és a robbantás eredményei (a szerzők felvétele)

A robbantó eszköz egy additív gyártástechnológiával előállított töltetházból és a hozzá tartozó robbanóanyag-töltetből állt. A töltetház kialakítása kifejezetten ajtó elleni alkalmazásra készült, célja a robbanóanyag megfelelő irányítása és rögzíthetőségének biztosítása volt. Töltetként – az Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskolán végzett Dr. Kugyela Lóránd vizsgáló mérnök által kifejlesztett – MATRA – Magyar Többkomponensű Robbanóanyag került alkalmazásra [5], elektromos indítású gyutaccsal indítva. A robbanóanyag tömege 300 g volt, amely a vizsgálat során referenciamennyiségként szolgált a rombolóhatás és a szerkezeti igénybevétel értékeléséhez.

A töltetház és a robbanóanyag együttes tömege megközelítőleg 2,8 kg volt. Az eszköz rögzítése az ajtólapra Breacher's tape ragasztószalaggal volt tervezve. A rögzítési módszer megválasztásánál elsődleges szempont volt az egyszerűség és a gyors alkalmazhatóság, ugyanakkor a kísérlet során lehetőség nyílt a megoldás korlátainak feltárására is.

A repeszhatás csökkentése és a lökéshullám irányítása érdekében az Ajtó Robbantó Kazettába csapvizet és megfelelő mennyiségű sodium polyacrylate-ot tettünk (hydrogél), amely a víz megkötésére szolgált.



2. ábra Az ARK töltetháza és a MATRA robbanóanyag töltése (a szerzők felvétele)

A robbantást megelőzően a töltet elhelyezése a zárszerkezet vonalában az ajtólap közepén történt, figyelembe véve a reteszelési pontok elrendezését és a várható szerkezeti gyengítési irányokat. A robbantás végrehajtása során a megfigyelés kiterjedt az ajtó szerkezet károsodásának

jelleget, a töltetház viselkedésére, valamint a környezetbe kijutó füst és törmelék eloszlására is. A kísérlet tapasztalatai kvalitatív értékelés alapján kerültek rögzítésre, amelyek a további konstrukciós és alkalmazástechnikai módosítások alapját képezik.

3 Kísérleti tapasztalatok és megfigyelések

A kísérlet végrehajtása során szerzett tapasztalatok több, egymással összefüggő területre világítottak rá, amelyek egyaránt érintették az ARK konstrukcióját, a robbanóanyag alkalmazását, valamint az eszköz gyakorlati használhatóságát. A megfigyelések értékelése során különös hangsúlyt kapott az, hogy az egyes problémák milyen mértékben befolyásolták a robbantás eredményességét és az alkalmazás biztonságát.

Az egyik legszembetűnőbb tapasztalat a töltet rögzítésével kapcsolatban jelentkezett. A kísérlet idején fennálló hideg, csapadékos és párás időjárási körülmények jelentősen rontották az alkalmazott rögzítőanyag tapadáképeségét. Ennek következtében a robbantó kazetta stabil rögzítése az ajtólapon nehézkessé vált, ami közvetlenül hatással volt a töltet pontos pozicionálására. A jelenség rávilágított arra, hogy a rögzítési technika környezeti érzékenysége a rendszer egyik kritikus pontja.

A robbanóanyag mennyiségének megválasztása (az első kísérletnél 300 g, a másodiknál 130 g) szintén fontos tanulságokkal szolgált. A kísérlet során alkalmazott töltettömeg a megfigyelt rombolóhatás alapján túlzottnak bizonyult (nem volt ismert a robbanóanyag munkavégző képessége). A tapasztalatok arra utalnak, hogy a kívánt szerkezeti gyengítés lényegesen kisebb robbanóanyag-mennyiséggel is elérhető lett volna. Ez nemcsak a hatékonyság szempontjából jelentős, hanem a másodlagos hatások – például a repeszképződés és a túlnyomás – csökkentése miatt is kiemelt jelentőségű.

A töltetház konstrukciója és tömege szintén befolyásolta az alkalmazhatóságot. A teljes szerelvény közel 2,8 kg-os tömege a gyakorlatban nehézkes kezelhetőséget eredményezett, különösen a rögzítés során. A tömeg növekedése egyúttal a tapadással szemben is kedvezőtlen hatást fejtett ki, mivel a rögzítőanyagoknak nagyobb mechanikai terhelést kellett elviselniük. Ez a tapasztalat egyértelműen alátámasztja a töltet tömegének csökkentését a további fejlesztések során.

Konstrukciós szempontból több, finomhangolást igénylő részlet is azonosítható volt. A töltetház tálcája és annak tárolója közötti illesztés túl szorosnak bizonyult, ami a szerelhetőséget hátrányosan befolyásolta. A gyakorlat azt mutatta, hogy minimális holtjáték biztosítása jelentősen javítaná a kezelhetőséget anélkül, hogy az eszköz stabilitása romlana. Ezzel összefüggésben megfigyelhető volt az is, hogy a fedőlemez nélküli kialakítás egyszerűbb és gyorsabb összeállítást tett lehetővé.

A gyújtórendszer kialakítása kapcsán további hiányosságok kerültek felszínre. A gyutacs befogadására szolgáló furat mérete nem illeszkedett optimálisan az alkalmazott elektromos indítású gyutacshoz, ami a szerelés pontosságát és megbízhatóságát csökkentette. Ez a körülmény egyértelműen indokoltá teszi a méretezés pontosítását, különösen a biztonságos és reprodukálható alkalmazás érdekében.

A robbanás lefolyása során megfigyelhető volt, hogy a robbanóanyag fizikai állaga és eloszlása befolyásolta a hatás átadását. A tapasztalatok arra utalnak, hogy az egységesebb, szilárdabb állagú töltet kedvezőbb feltételeket teremthet a robbanás energiájának irányított továbbításához. Ezzel összefüggésben felmerült az igény a kazetta belső tagolásának kialakítására, amely lehetővé tenné kisebb robbanóanyag-mennyiség alkalmazása mellett is a megfelelő rombolóhatás elérését.

A kísérletek igazolták a 3D nyomtatással készült ARK alapelgondolásának működőképességét, ugyanakkor számos olyan konstrukciós és alkalmazástechnikai kérdést tárt fel, amelyek további fejlesztést igényelnek. A tapasztalatok egyértelmű irányt mutatnak egy könnyebb, jobban rögzíthető, valamint kisebb töltetmennyiséggel is hatékony eszköz kialakítása felé, amely a későbbi vizsgálatok és kísérletek alapját képezheti.

A víz- hydrogél kombináció alkalmazása növelte a robbanási energia elnyújtását és jelentősen csökkentette a repeszképződést és a másodlagos sérülési kockázatokat.



3. ábra A hydrogéllal töltött ARK és a detonáció pillanatai (a szerzők felvétele)

4 A tapasztalatok alapján megfogalmazott megoldási javaslatok

A kísérlet során feltárt hiányosságok és működési korlátok alapján több olyan fejlesztési irány azonosítható, amelyek megvalósítása érdemben javíthatja az ARK alkalmazhatóságát. Ezek a javaslatok nem önálló problémákra adnak választ, hanem egymással összefüggő rendszerként értelmezhetők.

Elsődleges fejlesztési területként a rögzítési megoldások átalakítása jelölhető meg. A kísérlet rámutatott arra, hogy az alkalmazott ragasztási technika erősen környezetfüggő, ezért indokolt többféle rögzítőanyag és rögzítési elv párhuzamos vizsgálata. A tapadófelület növelése, valamint a mechanikai rögzítést segítő elemek – például bújtatók, fülek vagy felpattintható kiegészítők – kialakítása jelentősen növelheti az eszköz üzembiztonságát kedvezőtlen időjárási viszonyok között.

A robbantó kazetta méretének és tömegének csökkentése szintén kiemelt jelentőségű. A tapasztalatok alapján a jelenlegi kialakításnál rövidebb, kisebb térfogatú kazetta is alkalmas lehet az elérni kívánt rombolóhatás biztosítására. A tömegcsökkentés nemcsak a kezelhetőséget javítaná, hanem közvetve a rögzítés megbízhatóságát is, mivel kisebb terhelést róna a tapadófelületekre.

A töltettálca belső kialakítása további optimalizálást igényel. A belső tagolás kialakítása lehetővé tenné a robbanóanyag egyenletesebb eloszlását, valamint szükség szerint kisebb töltetmennyiség alkalmazása mellett is biztosíthatná a robbanás hatékony továbbadását a gyutacs és a szekunder töltet között. Ez a megoldás egyúttal növelné az eszköz variálhatóságát és adagolhatóságát is.

Konstrukciós szempontból indokolt a töltetház, a fedél és az oszlop illesztésének pontosítása. A megfelelően kialakított illesztések lehetővé tennék az eszköz gyors összeállítását kiegészítő ragasztóanyagok alkalmazása nélkül, ami a terepi használhatóság szempontjából jelentős előnyt jelentene.

5 Kihívások és fejlesztési irányok

A további fejlesztések során több olyan kihívással kell számolni, amelyek túlmutatnak az egyes konstrukciós részleteken. Ilyen kihívás a robbanóanyag fizikai állagának következetes biztosítása, mivel a tapasztalatok szerint az egységesebb, szilárdabb állag kedvezőbb feltételeket teremt a robbanási energia irányított átadásához.

Szintén megoldandó kérdés a gyújtórendszer és a töltetház illeszkedésének pontosítása. A gyutacsfogadó furat méretezésének finomítása elengedhetetlen a biztonságos és reprodukálható alkalmazás érdekében, különösen akkor, ha a rendszer később rendszeresített eszközként vagy szabványosított eljárás részeként kerülne alkalmazásra.

Operatív szempontból kihívást jelent az eszköz alkalmazásának komplexitása is. A hosszabb távú cél egy olyan „összeállított csomag” kialakítása, amely minimális előkészítést igényel, és terepen is gyorsan, egyszerűen alkalmazható. Ideális esetben a rendszer működtetéséhez legfeljebb alapvető segédanyagok – például víz – lennének szükségesek.

A kísérletek folytatása során indokolt a személyi biztonsági szempontok részletesebb vizsgálata is. Ennek része lehet a megfigyelési pontok és kameranézetek optimalizálása annak érdekében, hogy pontosabb képet lehessen alkotni a füst- és törmelékszóródás irányáról, valamint annak esetleges hatásáról a végrehajtott állományra.

6 Következtetések

A végrehajtott kísérletek egyértelműen igazolták, hogy a 3D nyomtatással készült robbantó kazetta alapelve alkalmas biztonsági ajtók robbantásos gyengítésére és feltörésére. Ugyanakkor a vizsgálat rávilágított arra is, hogy az alkalmazott konstrukció és töltetméretezés további finomhangolást igényel a hatékonyság, a biztonság és a kezelhetőség egyidejű javítása érdekében.

A tapasztalatok alapján megállapítható, hogy kisebb robbanóanyag-mennyiség alkalmazása mellett is elérhető a kívánt hatás, amennyiben a töltetház kialakítása és a rögzítés módja megfelelően optimalizált. Ez különösen fontos a másodlagos hatások csökkentése és az alkalmazás kockázatainak mérséklése szempontjából. A repeszhatások értékelése szempontjából tesztbábuk lettek elhelyezve a robbantás közvetlen környezetében – 7 méterre –, amelyeken sérülést nem okozott még az egyértelműen túlzott robbanóanyag felhasználás ellenére sem. Az ARK test négyzetcentiméternyire szakadt darabjai nem okoztak sérülést a külső környezetben.

A vizsgálat eredményei megalapozzák egy olyan robbantó kazetta-rendszer továbbfejlesztését, amely egyrészt univerzálisan alkalmazható különböző ajtótipusok esetén, másrészt lehetőséget biztosít ajtóspecifikus változatok kialakítására is. A jövőbeni kutatások és kísérletek ezen irányok mentén hozzájárulhatnak a robbantásos ajtónyitás eszközzrendszerének korszerűsítéséhez és hatékonyságának növeléséhez.

7 Hivatkozások

- [1] Ember, I., & Ádám, B. (2022). Kumulatív töltetházak 3D nyomtatása. *Hadmérnök*, 17(3), 35–44. <https://doi.org/10.32567/hm.2022.3.2>
- [2] Ember, I. (2023). Additív gyártástechnológia alkalmazási lehetőségei vágótöltet készítésére. In *A hadtudomány és a 21. század* (pp. 9–15). Doktoranduszok Országos Szövetsége; Colorcom Media Kft. <https://hdi.uni-nke.hu/document/hdi-uni-nke-hu/hadtudomany-es-a-21-sz-kotet-2023.pdf>
- [3] Szalkai, L. (2023). Nyílászárók erőszakos nyitásának lehetőségei. *II. Fúrás- és robbantástechnika nemzetközi szimpózium különkiadás*, 104–117.
- [4] Szalkai, L. (2024). Nyílászárók erőszakos nyitásának kihívásai. *III. Fúrás- és robbantástechnika nemzetközi szimpózium különkiadás*, 102–115.
- [5] Kugyela, L. (2024). Több komponensű robbanóanyag felhasználhatósága kumulatív lyukasztó és vágó töltetekben. *III. Fúrás- és robbantástechnika nemzetközi szimpózium különkiadás*, 140–147.
- [6] Daruka, N., Kugyela, L., & Ember, I. (2025). Többkomponensű robbanóanyag és alkalmazásának lehetőségei – I. rész. *Haditechnika*, 59(4), 50–55.