

Ember István¹ 

Hatásvizsgálati robbantás kumulatív töltetekkel²

Efficiency Test Blasting with Shaped Charges

A 3D nyomtatás napjainkban elterjedt módszere az iparnak, a gyógyászatnak és számos más területnek. A robbantástechnika is része lehet ennek a felsorolásnak, különös tekintettel a kumulatív töltetekre. Mivel a hadi és civil felhasználás vonatkozásában kialakultak átfedések, nem beszélhetünk kizárólag egy területre fókuszált kutatásokról. A kialakított tölteteket több méretben és eltartással vizsgáltuk. Jelen tanulmányban kizárólag a politejsavat alkalmaztuk alapanyagként az egyes töltetek minden alkateleméhez. Az eredmények azt jelzik, hogy van létjogosultsága az alacsony sűrűségű anyagok felhasználásával készült béléstestek további tesztelésének.

Kulcsszavak: *hatásvizsgálat, 3D nyomtatás, kumulatív töltet, robbantás, PLA*

3D printing is a widespread method in industry, medicine and numerous other fields. Blasting technology could be part of the above-mentioned list, with regard to shaped charge technology. We cannot speak about only one focus of research, because the military and civilian use have overlaps. The formed charges were made in different sizes with different stand-off distances. In our study, all parts of all shaped charges are made with polylactic acid. The results show that the low-density liners have adequate efficiency and deserve further blasting trials.

Keywords: *efficiency trial, 3D printing, shaped charge, blasting, PLA*

¹ Doktori hallgató, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Hadtudományi Doktori Iskola, e-mail: Ember.Istvan@uni-nke.hu

² A cikk az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-21-3-II-NKE-26 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a nemzeti kutatási, fejlesztési és innovációs alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

1. Bevezetés

3D nyomtatók alkalmazásával napjainkban már igen széles spektrumban találkozhatunk. Az egészségügy és az ipar szereplői egyaránt alkalmazzák, de felívelőben van hadiipari, katonai alkalmazása is. A különböző precíziós robbantások civil és katonai vonalon megkövetelik, hogy a szakemberek magas szintű szaktudással és felszereléssel végezzék munkájukat, hajtásuk végre feladataikat. A 21. század technikai fejlettsége számos modern megoldást biztosít ehhez, és a 3D nyomtatók meghatározó részei lehetnek ennek. Ilyen nyomtatási módszerrel modernizálható, optimalizálható lehet egy-egy célfeladat, valamint egyszerűsödhetnek az anyagbeszerzési, raktározási folyamatok.

Katonai vonatkozásban kiemelt szerepe lehet a robbantástechnika kombinálásának a 3D nyomtatással. Ez a kombináció több tekintetben is illeszkedik a meghatározott kutatási irányokhoz.³

A többnyire brizáns⁴ és bináris⁵ robbanóanyaggal készült precíziós töltetek főként kumulatív hatásukkal⁶ képesek hatékonyan ellátni feladataikat. Jelenleg a robbanóanyagok 3D nyomtatására nincs kidolgozott, ismert technológia, de a töltetek alkatelemei vonatkozásában szinte minden megvalósíthatóvá válik.

Jelen tanulmányban egy hosszabb vizsgálati sorozat második mérföldkövéként végzetünk robbantásos tesztek, empirikus eredmények elérése érdekében. A vizsgálatot azzal a feltételezéssel állítottuk össze, hogy viszonylag kis méretű, akár 20 mm-es belső átmérőjű, alacsony sűrűségű, 3D nyomtatással készült kumulatív töltet is képes lehet 15 mm homogén acél átütésére. Ez az eredmény igazolná több tekintetben az ilyen töltetek hatékony alkalmazási lehetőségét nemcsak katonai, hanem ipari vonatkozásban is. Ez utóbbi vonal további kutatásokat követel majd a jövőben, ha az eredmények kellő effektivitást igazolnak.

2. A vizsgált töltetek

Az aktuális vizsgálat szempontjából az alacsony sűrűségű anyagok jöhetnek számításba, mint a politejsav⁷ (PLA). Ez triviális választásnak tűnt, hiszen a 3D nyomtatás meghatározó alapanyaga, amely a környezetben viszonylag gyorsan lebomlik. Mivel könnyen beszerezhető és felhasználható, ezért a nyomtatási költségek is minimalizálhatók, valamint az elterjedt gyártása miatt ellátási nehézségek sem várhatók.

³ Boda József et al.: A hadtudományi kutatási irányok, prioritások és témakörök. *Államtudományi Műhelytanulmányok*, 16. (2016). 1–23.

⁴ Lukács László: *Szemelvények a magyar robbantástechnika fejlődéstörténetéből, különös tekintettel a továbbfejlesztés várható irányaira és a kor új kihívásaira*. Budapest, Dialóg Campus Kiadó, 2017.

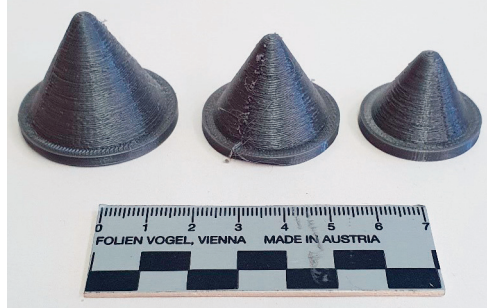
⁵ Kugyela Lóránd: A többkomponensű robbanóanyagok múltja, jelene és jövője. *Katonai Logisztika*, 28. (2020), 4. 58–75.

⁶ Lukács László: A kumulatív töltetek és gyakorlati alkalmazásuk. *Műszaki Katonai Közlöny*, 20. (2010), 1–4. 175–185.

⁷ Angolul: *poly lactic acid*.

A PLA sűrűsége a fémekhez viszonyítva alacsony,⁸ alkalmazása és beszerzése egyszerű, így ebből készítettük el a vizsgált változatokat. A béléstestek falvastagsága 3 mm-ben lett meghatározva. Egyes kutatók vékonyabb változatokat tartanak eredményesebbnek,⁹ ennek ellenére a kiválasztott méret inkább az elfogadott trendhez igazodik.

Az 1. ábrán láthatók a három méretben kinyomtatott béléstestek, amelyek ekkor még nem kaptak utókezelést. Az utókezelés a gyakorlatban a nyomtatási maradékok és sorják eltávolítására koncentrálódik, bár esetenként az élek az alkatелеmek pontos és akadálymentes illeszkedése érdekében kisebb reszelést igényeltek.



1. ábra: Alkalmazott béléstestek (balról jobbra: 30 mm, 25 mm, 20 mm belső átmérővel)
Forrás: a szerző szerkesztése

A béléstestek tekintetében más változatok alkalmazása is felmerült, de ezeket gazdasági okok miatt el kellett vetnünk. A falvastagság optimalizálásával például lehetséges lenne a hatásfokot növelni. Ebben az értelemben a fal nem homogén vastagsága hozhat ilyen eredményt. Mivel a kumulatív sugár hegye és magja között jelentős a sebességbeli különbség,¹⁰ ezt az eltérést optimalizálhatjuk ilyen módszerrel. Amennyiben a béléskúp hegyénél vékonyabb az anyag, a kialakult kumulatív anyagsugár magjának nagyobb lesz a sebessége, ezzel megnő az elvi megnyúlásának lehetősége, ami a penetráció egyik alapköve.

A céltárgy átütése ideális folyadékok találkozásoként írható le az ismert fizikában, annak ellenére, hogy alapvetően két szilárd anyag, két fém találkozik egymással az esetek túlnyomó részében.¹¹ Ezt a folyamatot a fenti ideális megnyúlás mellett a céltárgy és a béléstest sűrűsége határozza meg. Mindezek mellett jól előrevetíthető, hogy az alacsony sűrűségű PLA a réz átütési képességeit meg sem fogja közelíteni, azonban nem minden feladathoz szükséges az extrém penetrációs képesség. Egyes tűzszerezés-szakfeladatok során például kifejezetten előnyös, ha egy bizonyos méretre optimalizált az átütés, és a céltárgyon áthaladva a kumulatív sugár gyorsan erejét veszíti.

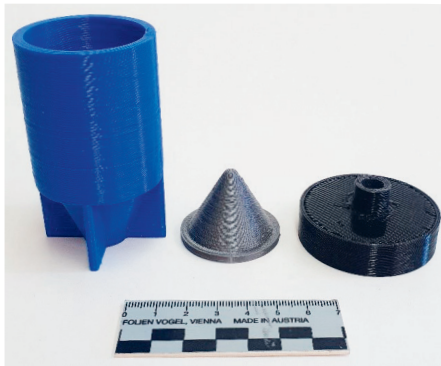
⁸ A különböző gyártók technikai leírásai alapján a sűrűség változó lehet: 1,24–1,31 g/cm³.

⁹ Henry O. Agu: *The Effect of 3D Printed Material Properties on Shaped Charge Liner Performance*. Doktori értekezés. Cranfield, United Kingdom, Cranfield University, 2019.

¹⁰ Hatala András: Üreges töltetek I. rész. *Haditechnika*, 44. (2010), 2. 72–76.

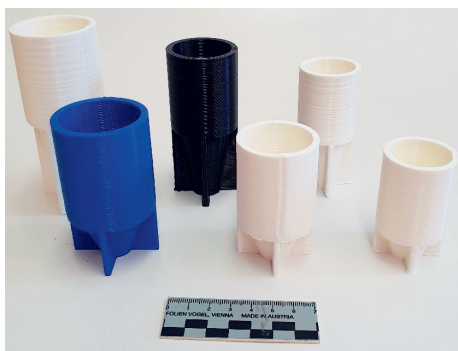
¹¹ Alistair Doig: Some Metallurgical Aspects of Shaped Charge Liners. *Journal of Battlefield Technology*, 1. (1998), 1. 1.

A töltetházakat a béléstestek befogadására méreteztük, a gyutacs vezetésére, támasztására szolgáló kupak pedig a töltetház külső átmérőjéhez igazodik. Minden alkatétel PLA alapanyagból készült. A kupak esetében ragasztásos utómunkálatra volt szükség. A vezetőhengert a nyomtatási idő és az anyagfelhasználás optimalizálása érdekében külön nyomtattuk ki, majd ragasztottuk össze a kupakkal.



2. ábra: 30 mm-es kis eltartású töltetház a béléstestével és kupakjával
Forrás: a szerző szerkesztése

A 3. ábrán látható mind a hat vizsgált töltettípus. Annak érdekében, hogy viszonyítási alappal rendelkező eredményt kapjunk, két eltartási mérettel készültek a töltetek. A kisebb esetében a béléstest belső átmérőjével megegyező, a nagyobb esetében annak kétszeresében határoztuk meg ezt a távolságot. A fókusz távolságot a kialakított egymásra merőleges merevítő, valamint a visszaáramlását biztosította. Ez utóbbi alkatétel jelentősége, hogy a kumulatív sugár céltárgyba ütközésekor egy rövid, de kiemelten fontos ideig képes a céltárgyról visszaverődő anyagsugarat elvezetni oldalra. Ezzel gyakorlatilag az alkatétel optimalizálja a kumulatív sugár formálódását, ami közvetlen hatással van a penetrációs képességre.



3. ábra: A vizsgált töltettípusok (hátsó sor – nagyobb eltartás, első sor – kisebb eltartás; balról jobbra 30 mm, 25 mm, 20 mm mindkét sorban)
Forrás: a szerző szerkesztése

Az eredmények hiteles igazolása céljából minden változatot három alkalommal vizsgáltunk (1. táblázat).

1. táblázat: A felrobbantott töltetek jellemzői

Fsz.	Béléstest átmérője	Fókusz távolság	Béléstest forma	Béléstest anyag	Mennyiség
1.	30 mm	1D	kúp	PLA	3 db
2.	30 mm	2D	kúp	PLA	3 db
5.	25 mm	1D	kúp	PLA	3 db
6.	25 mm	2D	kúp	PLA	3 db
9.	20 mm	1D	kúp	PLA	3 db
10.	20 mm	2D	kúp	PLA	3 db
Összesen					18 db

Forrás: a szerző szerkesztése

3. A vizsgálat körülményei

A vizsgálati feladatot a MH 1. Honvéd Tűzszerész és Hadihajós Ezred (MH 1. HTHE) szakállományának segítségével és biztosításával hajtottuk végre Táborfalván, a Magyar Honvédség (MH) kijelölt robbantási területén.

A robbantást három tűzben hajtottuk végre, méretcsoportonként egy sorozatban. A három méret miatt tehát három robbantást végeztünk el, összesen 18 töltetet vizsgálva. A villamos hálózatot soros kapcsolással alakítottuk ki a MH rendszeresített villamos gyutacsaival és elektromos vezetékével. A vizsgálat tárgyát képző tölteteket Semtex-H robbanóanyaggal töltöttük fel. A robbantógödrök a talajban kialakított 30 × 30 cm alapterületű és 30 cm mély gödrök voltak, ezekben helyeztük el a céltárgyakat a rájuk ragasztott töltetekkel. A gödröket egymástól olyan távolságra alakítottuk ki, hogy a detonáció lökőhulláma és egyéb hatásai ne befolyásolhassák a vizsgálatot. Ez a gyakorlatban közel 5 m távolságot jelentett.

A Mű/213. Robbantási utasítás vonatkozó rendszabályait alkalmaztuk a feladat során, mivel a hagyományos feladatoktól ez a tevékenység sem tért el, és a szabályzat részletesen meghatározza a fémrobbantásra vonatkozó előírásokat.

A kialakított töltetek paramétereit részletes bontásban a 2. táblázatban láthatjuk. A töltetek több méretben és eltartással készültek, ezért mindegyiket egy kódolt elnevezéssel, típusjelöléssel tettük beazonosíthatóvá. Ez a kód a béléstest belső átmérőjéből, az eltartásból¹² és a béléstest formájából¹³ tevődik össze.

¹² 1D = egy béléstest belső átmérőnyi eltartás; 2D = kettő béléstest belső átmérőnyi eltartás.

¹³ K = kúp; FG = félgömb.

2. táblázat: A felrobbantott töltetek paramétereit

Fsz.	Típus	Külső átmérő (mm)	Magasság (mm)	Töltetház tömege (g)	Béléstest tömege (g)	Robbanóanyag tömege (g)	Szerelt tömeg (g)
1.	30-1D-K	46	80	41	3,8	76,3	121,1
2.	30-1D-K	46	80	41,7	3,8	75,5	121
3.	30-1D-K	46	80	41,8	3,9	76,2	121,9
4.	30-2D-K	46	110	53,9	3,9	75,6	133,4
5.	30-2D-K	46	110	53,6	3,8	75,3	132,7
6.	30-2D-K	46	110	54,1	3,8	75,7	133,6
7.	25-1D-K	41	70	32,0	5,4	48,8	86,2
8.	25-1D-K	41	70	32,0	5,4	49,7	87,1
9.	25-1D-K	41	70	31,9	5,4	48,6	85,9
10.	25-2D-K	41	95	43,0	5,4	48,9	97,3
11.	25-2D-K	41	95	42,9	5,4	48,8	97,1
12.	25-2D-K	41	95	42,6	5,4	49,2	97,2
13.	20-1D-K	36	61	24,5	3,8	33,3	61,6
14.	20-1D-K	36	61	24,5	3,9	33,0	61,4
15.	20-1D-K	36	61	24,4	3,8	32,8	61,0
16.	20-2D-K	36	81	32,2	3,9	32,5	68,6
17.	20-2D-K	36	81	31,8	3,8	32,5	68,1
18.	20-2D-K	36	81	30,8	3,8	33,3	67,9

Forrás: a szerző szerkesztése

A 3. táblázatban jelölt típusonkénti elosztás szerint alkalmaztuk a céltárgyakat a hatásvizsgálat során. Mindegyik esetben homogén acéllemezt használtunk, azonban a vastagság tekintetében eltérő felhasználás mellett döntöttünk. A két kisebb méret esetében (20 mm és 25 mm) a ki-tűzött cél 15 mm volt. Mivel a 30 mm-es változat esetében nem voltak kétségeink a 15 mm-es vastagságú céltárgy átütésében, ezért itt 25 mm-re növeltük a vastagságot.

3. táblázat: A céltárgyak jellemzői

Fsz.	Típus	Céltárgy
1.	20-1D-K	1 db 15 mm vastag és kb. 60 × 60 mm-es acéllemez töltetenként.
2.	20-2D-K	
3.	25-1D-K	
4.	25-2D-K	
9.	30-1D-K	1 db 25 mm vastag és kb. 80 × 80 mm-es acéllemez töltetenként.
10.	30-2D-K	

Forrás: a szerző szerkesztése

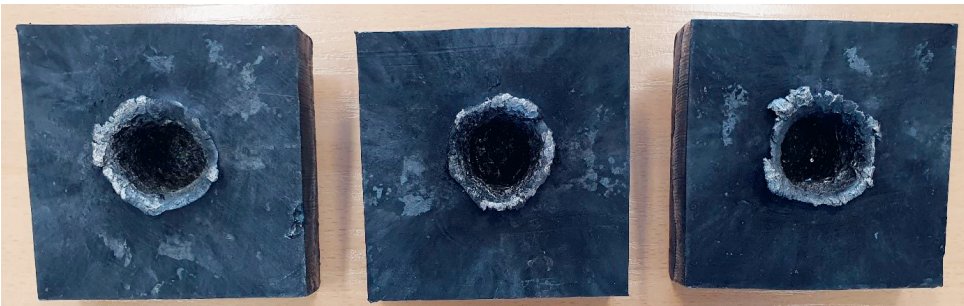
Ezek a céltárgyak ugyan anyagminőségükben nem egyeznek meg például az egyes tűzérési gránátokkal vagy építőipari alkatelmekekkel, de a közel azonos anyagsűrűség miatt megfelelő alpnak gondoltuk a vizsgálathoz. A további tesztek során elengedhetetlen lesz a konkrét feladatokhoz anyagminőségben is megfelelő céltárgyakat alkalmazni a minden kétséget kizáró eredmények érdekében.

A töltetek elkészítésének folyamata:

1. a töltetházak összeszerelése, az alkatelemek egymáshoz rögzítése pillanatragasztóval;
2. a töltetek feltöltése plasztikus robbanóanyaggal;
3. a feltöltött töltetekben a gyutacs helyének a kialakítása formázó kupakkal;
4. a töltetek tömegének ellenőrzése digitális mérleggel;
5. a gyutacstámasztó kupak felhelyezése;
6. a töltetek rögzítése a céltárgyhoz pillanatragasztóval;
7. a rögzített töltetek behelyezése a robbantásra kialakított robbantó gödrökbe.

4. A vizsgálati eredmények

A 30 mm-es töltet 30 mm-es eltartással nem okozott átütést a 25 mm vastag céltárgyon egyik esetben sem. A behatolás átmérője 22–23 mm volt, a bemeneti nyílás körül viszonylag szabályos perem alakult ki, amelynek legnagyobb magassága 9 mm mindhárom esetben. A lyukak viszonylag homogén átmérővel rendelkeznek, mindegyikük mélysége 22 mm. A céltárgy alján az anyag 9 mm-es megnyúlása tapasztalható valamennyi töltetnél. Megállapítható, hogy ez az anyagvastagság már ha nem is jelentősen, de nagyobb, mint a töltet maximális teljesítményéből fakadó átütési képesség.



4. ábra: 30 mm-es kúp alakú béléstesttel szerelt 30 mm-es eltartású töltetek céltárgyai robbantás után
Forrás: a szerző szerkesztése

A 30 mm-es töltet 60 mm-es eltartással nem okozott átütést a 25 mm vastag céltárgyon egyik esetben sem. A behatolás átmérője 22–25 mm volt, amely 15 mm-re szűkült, a bemeneti nyílás körül pedig szabálytalan perem alakult ki, amelynek legnagyobb magassága 4–5 mm mindhárom esetben. A lyukak alapvetően nem homogén átmérővel rendelkeznek, mélységük 17–21 mm. A céltárgy alján az anyag 6–7 mm-es megnyúlása tapasztalható valamennyi töltetnél. Megállapítható, hogy ez az anyagvastagság már nagyobb, mint a töltet maximális teljesítményéből fakadó átütés.



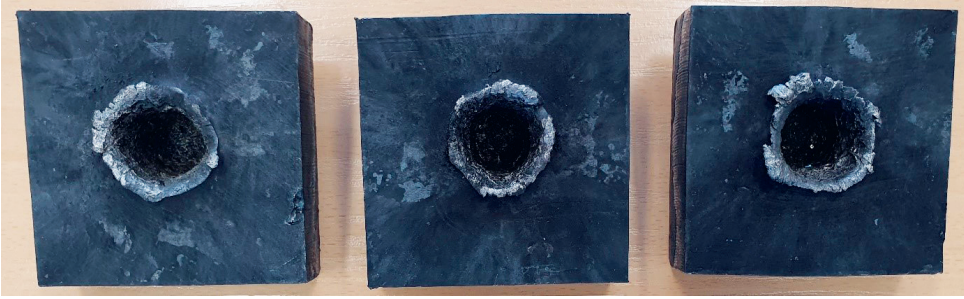
5. ábra: 30 mm-es kúp alakú béléstesttel szerelt 60 mm-es eltartású töltetek céltárgyai robbantás után
Forrás: a szerző szerkesztése

A 25 mm-es töltet 25 mm-es eltartással minden esetben átütést okozott a 15 mm vastag céltárgyon. A behatolás átmérője 18–19 mm volt, a bemeneti nyílás körül alapvetően szabályos perem alakult ki, amelynek legnagyobb magassága 5 mm mindhárom esetben. A lyukak viszonylag homogén átmérővel rendelkeznek. A kimeneti nyílások 17–19 mm átmérőjűek, amelyeket 9–10 mm magas perem övez.



6. ábra: 25 mm-es kúp alakú béléstesttel szerelt 25 mm-es eltartású töltetek céltárgyai robbantás után
Forrás: a szerző szerkesztése

A 25 mm-es töltet 50 mm-es eltartással minden esetben átütést okozott a 15 mm vastag céltárgyon. A behatolás átmérője 17–20 mm volt, a bemeneti nyílás körül alapvetően szabálytalan perem alakult ki, amelynek legnagyobb magassága 3–5 mm mindhárom esetben. A lyukak nem homogének, szűkülő átmérővel rendelkeznek. A kimeneti nyílások 15–18 mm átmérőjűek, amelyeket 9–14 mm magas perem övez.



7. ábra: 25 mm-es kúp alakú béléstesttel szerelt 50 mm-es eltartású töltetek céltárgyai robbantás után
Forrás: a szerző szerkesztése

A 20 mm-es töltet 20 mm-es eltartással minden esetben átütést okozott a 15 mm vastag céltárgyon. A behatolás átmérője 15–16 mm volt, a bemeneti nyílás körül alapvetően szabályos perem alakult ki, amelynek legnagyobb magassága 3–4 mm mindhárom esetben. A lyukak viszonylag homogén átmérővel rendelkeznek. A kimeneti nyílások 14–15 mm átmérőjűek, amelyeket 10–13 mm magas perem övez.



8. ábra: 20 mm-es kúp alakú béléstesttel szerelt 20 mm-es eltartású töltetek céltárgyai robbantás után
Forrás: a szerző szerkesztése

A 20 mm-es töltet 40 mm-es eltartással minden esetben átütést okozott a 15 mm vastag céltárgyon. A behatolás átmérője 12–14 mm volt, a bemeneti nyílás körül alapvetően szabálytalan perem alakult ki, amelynek legnagyobb magassága 2–4 mm mindhárom esetben. A lyukak nem homogének, szűkülő átmérővel rendelkeznek. A kimeneti nyílások 12–15 mm átmérőjűek, amelyeket 7–9 mm magas perem övez.



9. ábra: 20 mm-es kúp alakú béléstesttel szerelt 40 mm-es eltartású töltetek céltárgyai robbantás után
Forrás: a szerző szerkesztése

A vizsgálat szempontjából a 20 és 25 mm-es béléstesttel szerelt töltetek egyaránt teljesítették az elvárt 15 mm-es átütést. Ez azt jelzi, hogy a legkisebb változat is eredményes lehet egy ilyen jellegű penetrációs feladatnál. Természetesen figyelembe kell venni, hogy a kisebb eltartású 20 mm-es változat határértékközeli teljesítményt nyújtott, míg a nagyobb eltartású kisebb változat szabálytalanabb eredményt hozott, viszont maradhatott benne még átütésre fordítható energia. Ez utóbbi állítást a kilépő nyílások peremei igazolják.

Mindenképpen további vizsgálatra érdemes a visszaáramlását, mert igazolandónak érezzük működését. Ebben a vonatkozásban megegyező paraméterű, de ilyen kialakítástól mentes töltetekkel végzett vizsgálatok szükségesek, amelyek igazolhatják vagy cáfolhatják a visszaáramlását hatékonyságra gyakorolt hatását.

A céltárgyak megfeleltek a kitűzött céloknak, a 15 mm-es változatokon elért eredmények ezt jól alátámasztják, bár további robbantások lesznek szükségesek. A későbbi tesztek során a tervezett felhasználási területen alkalmazott anyagminőségű céltárgyakat kell majd használni a minden kétséget kizáró hatékonyság bizonyításához.

5. Összegzés

A vizsgálatok alapvetően elérték a céljukat, bár egyes részeredmények a várakozásunkon alul alakultak. A 30 mm-es töltetek nem tudták átütni a 25 mm-es céltárgyat, bár ez csak néhány mm-en múlt, tehát határértékközeli eredményről beszélhetünk.

A fenti sikertelenség mellett azonban kijelenthető, hogy a többi töltet képes volt teljes átütést létrehozni, és a penetráció megfelelt az elvárásoknak átmérő és alak tekintetében. Jól beazonosítható, hogy a kisebb eltartások esetén homogénebb szerkezetű lyuk alakult ki a céltárgyakban. A nagyobb fókusz távolság esetén is egyértelműen azonosítható a teljesítmény, de a lyuk keresztmetszeti felépítése jelentősen változó volt.

Az eredmények azt mutatják, hogy a legkisebb töltetváltozat is alkalmas lehet polgári (jégrobbantás – műtárgyak jégmentesítése¹⁴) és katonai (hagyományos robbanótestek, improvizált robbanótestek¹⁵ hatástalanítása és az ABV-tűzszerészet¹⁶) felhasználásra egyaránt.

A továbbiakban abban az irányban fogjuk folytatni a vizsgálatokat, hogy a céltárgy anyagvastagsága és anyagminősége egyaránt megegyezzen a felhasználási területen lyukasztani tervezettekkel. Ennek érdekében például a katonai vonalon gyakorló – pirotechnikai és robbanóanyag-mentes – gránátokon tervezünk vizsgálatokat folytatni.

Felhasznált irodalom

- Agu, Henry O.: *The Effect of 3D Printed Material Properties on Shaped Charge Liner Performance*. Doktori értekezés. Cranfield, United Kingdom, Cranfield University, 2019. Online: <https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/handle/1826/15285>
- Berek Tamás: ABV (CBRN) tűzszerészcsoporthoz, mint a biztonsági kihívásokra adott válaszlépés. *Bolyai Szemle*, 25. (2016), 4. 22–34. Online: <https://bit.ly/3fbM4nf>
- Boda József – Boldizsár Gábor – Kovács László – Orosz Zoltán – Padányi József – Resperger István – Szenes Zoltán: A hadtudományi kutatási irányok, prioritások és témakörök. *Államtudományi Műhelytanulmányok*, (2016). 16. 1–23. Online: www.med.u-szeged.hu/download.php?docID=90702
- Daruka Norbert: Jégvédekezés robbantással. *Műszaki Katonai Közlöny*, 24. (2014), 4. 51–67. Online: https://mkk.uni-nke.hu/document/mkk-uni-nke-hu/2014_4_4_Jegvedekezés%20robbantással.pdf
- Doig, Alistair: Some Metallurgical Aspects of Shaped Charge Liners. *Journal of Battlefield Technology*, 1. (1998), 1. 1–3. Online: https://cdn.preterhuman.net/texts/terrorism_and_pyrotechnics/explosives/Shaped_Charges_Penetrators/Some_metalurgical_aspects_of_shaped_charge_liners.pdf
- Hatala András: Üreges töltetek I. rész. *Haditechnika*, 44. (2010), 2. 72–76.
- Kovács Zoltán: Fontos létesítmények IED elleni védelme. *Műszaki Katonai Közlöny*, 22. (2012), Különszám. 35–44. Online: https://mkk.uni-nke.hu/document/mkk-uni-nke-hu/2012_k_05%20IED%20elleni%20v%C3%A9delem%20-%20Kov%C3%A1cs_Z.pdf
- Kugyela Lóránd: A többkomponensű robbanóanyagok múltja, jelene és jövője. *Katonai Logisztika*, 28. (2020), 4. 58–75. Online: <https://doi.org/10.30583/2020.4.058>
- Lukács László: A kumulatív töltetek és gyakorlati alkalmazásuk. *Műszaki Katonai Közlöny*, 20. (2010), 1–4. 175–185. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/mkk/article/view/2866/2122>
- Lukács László: *Szemelvények a magyar robbantástechnika fejlődéstörténetéből, Különös tekintettel a továbbfejlesztés várható irányaira és a kor új kihívásaira*. Budapest, Dialóg Campus Kiadó, 2017.

¹⁴ Daruka Norbert: Jégvédekezés robbantással. *Műszaki Katonai Közlöny*, 24. (2014), 4. 51–67.

¹⁵ Kovács Zoltán: Fontos létesítmények IED elleni védelme. *Műszaki Katonai Közlöny*, 22. (2012), Különszám. 35–44.

¹⁶ Berek Tamás: ABV (CBRN) tűzszerészcsoporthoz, mint a biztonsági kihívásokra adott válaszlépés. *Bolyai Szemle*, 25. (2016), 4. 22–34.