

Ember István<sup>1</sup>

# 3D nyomtatott lyukasztó töltetek hatásvizsgálata<sup>2</sup>

## Efficacy Trial of 3D Printed Shaped Charges

A kumulatív töltetek alkalmazása sok esetben kifejezetten fontos lehet a robbantástechnikában. Ezek az alkalmazási területek egyaránt lehetnek civil, ipari vagy katonai vonatkozásúak. A 3D nyomtatás jelentősége minden tekintetben kiemelkedő, alkalmazása komoly előnyöket hordozhat. A vizsgálat megmutatja, hogy ezek a töltetek hatékonyak lehetnek alacsony sűrűségű béléstestekkel is. A félgömb és kúp alkatelemek esetében egyértelműen meghatározható, hogy melyik képes hatékonyabban átütni a céltárgyakat a vizsgált paraméterek mellett. A több méretben felrobbantott kumulatív töltetek penetrációs képessége tekintetében leszögezhető, hogy ilyen vastagságú céltárgyakat kisebb töltet is képes lehet átütni. Ez további vizsgálatokat igényel.

**Kulcsszavak:** kumulatív töltet, robbantás, vizsgálat, 3D nyomtatás

The use of shaped charges may be vital in lots of cases in blasting technique. These fields of adaptation can be civilian, industrial, or military. The importance of 3D printing is significant in every aspect, the adaptation of the method may provide indicative benefits. The trial shown below indicates that these charges can be effective with low density liners. In the case of a semi-sphere and a cone part the outcome shows which of those types can produce the most effective penetration within the circle of test parameters. The shaped charges were blasted in multiple size, and it is absolutely certified that a smaller type may be effective too on the same target. This fact determines more tests in the future.

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

<sup>1</sup> Egyetemi tanársegéd, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Műveleti Támogató Tanszék; Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Hadtudományi Doktori Iskola, doktori hallgató, e-mail: [Ember.Istvan@uni-nke.hu](mailto:Ember.Istvan@uni-nke.hu)

<sup>2</sup> A cikk az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-21-3-II-NKE-26 kódszámú új nemzeti kiválóság programjának a nemzeti kutatási, fejlesztési és innovációs alaplóból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

## 1. Bevezetés

A robbantástechnika alapvetően a gyorsan fejlődő területek közé tartozik, bár vannak elemei, amelyek akár évszázados múltra tekintenek vissza. Napjainkban nem is lehet kérdés, hogy a technológiai fejlődés meghatározó eszközei szintén részei lesznek ennek a fejlődési folyamatnak. A 3D nyomtatás manapság már viszonylag olcsón elérhető akár otthonainkban is, a széles körű használatot csupán az egyedi alkatrészek számítógépes tervezésének nehézségei akadályozzák, bár egyre egyszerűbb megoldásokat találhatunk erre a problémára.

Katonai vonatkozásban szintén van létjogosultága a robbantási feladatok ilyen irányú fejlesztésének, vizsgálatának. A kitzűzött mérvadó kutatási irányok<sup>3</sup> közül több területen hozhat gyakorlatban is alkalmazható eredményt a 3D nyomtatás.

A kumulatív töltetek egyes robbantási feladatokban nélkülözhetetlen előnyöket hordoznak, méretezésük széles skálán lehetséges.<sup>4</sup> A bennük alkalmazott robbanóanyagok alapvetően brizáns és többnyire bináris<sup>5</sup> változatok lehetnek.

Jelen vizsgálatban egy ilyen, 3D nyomtatással készült töltetsorozat hatékonyságának vizsgálatát és annak eredményét mutatjuk be. Az eredmények vélhetően jó alapjai lesznek a további fejlesztési, méretezési folyamatoknak. Mivel egy első vizsgálati sorozatról van szó, a tölteteket és az alkalmazott céltárgyakat a vizsgált típusok szűkítése céljából állítottuk össze, ezzel optimalizálva az erőforrások felhasználását, valamint a nyomtatási és tervezési idővel történő gazdálkodást.

## 2. A kialakított töltetváltozatok

Több változatot alakítottam ki a kumulatív tölteteknél. Méretezésük során alapvető adatnak a béléstest belső átmérőjét vettem. Ez a méret határozta meg a későbbiekben az eltartást vagy fókusz távolságot, amely a kumulatív sugár kialakulásához biztosítja a szükséges teret. Ennek a méretnek a fontossága jelentős, mert a töltet hatékonyságát nagyban befolyásolhatja.

A méreتي jellemzők mellett nem elengedhetetlen szempont a visszaáramlását kialakítása, amely szintén a fentebb említett kumulatív sugár tökéletesebb formálódását segítheti az által, hogy a céltárgyról visszaverődő anyagsugarat elvezeti.

Másik fontos kérdés a béléstest, amely minden kétséget kizáróan a legtöbbet nyomja a latban, ha egy kumulatív töltet hatékonyságát vizsgáljuk. Vitán felül áll, hogy a fémek alkalmazása, különös tekintettel a rézre, eredményezheti a legnagyobb átütést. A sűrűség ennél az alkatelemnél kifejezetten fontos, mert a céltárgy és a kumulatív sugár találkozáskor ideális folyadékokként viselkednek, ha a folyamatot fizikai leírással szeretnénk értelmezni. Történik ez annak ellenére, hogy a fémekből robbantásos roncsolással formált kumulatív sugár szilárd halmazállapotú.<sup>6</sup>

<sup>3</sup> Boda et al 2016.

<sup>4</sup> Lukács 2010.

<sup>5</sup> Kugyela 2020.

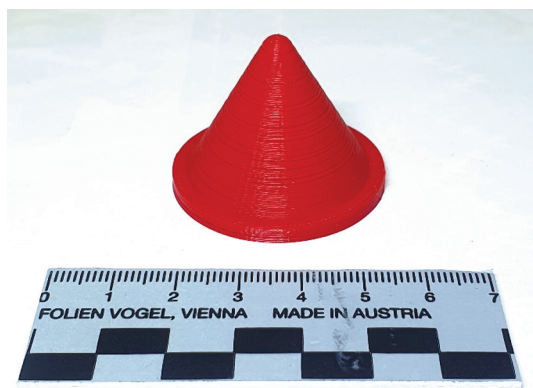
<sup>6</sup> Doig 1998. 1.

Jelen vizsgálatban azonban alacsony sűrűségű anyagból kialakított béléstestekkel szerelt tölteteket teszteltünk. Ez néhány esetben kifejezetten hasznos lehet, mégpedig akkor, ha csak egy meghatározott vastagságú anyagot kell kilyukasztani, és az anyag másik oldalán elvárt a jelentős hatáscsökkenés.

Éppen ezért a 3D nyomtatásban legelterjedtebb anyagot, a politejsavat<sup>7</sup> (PLA) választottam. Az anyag sűrűsége kellően alacsony<sup>8</sup> a fémekhez képest. Mivel a vizsgálat során összehasonlítási alapnak is meg kell jelennie, két geometriai forma mellett döntöttünk a béléstestek esetében. A kúp triviális választás volt, a területen jártas szakembereknek további magyarázatra nem szorul. A kúpszög esetében a 60°-ot választottuk, amely hatékonyság szempontjából kiemelkedő és nyomtatástechnikai szempontból is könnyen kivitelezhető. Mindezek mellett hegyesebb kúpszög esetén a töltetház is megnyúlna, amely a plasztikus robbanóanyaggal történő feltöltés során nehezítené a készre szerelés mozzanatát. A félgömb tekintetében jelentős méretezést nem igényelt az elgondolás kialakítása, bár előfordulhat, hogy különböző magasságú gömbszelet alkalmazása módosíthatná a hatékonyságot.

A béléstestek esetében az anyag vastagságát 3 mm-ben határoztuk meg, annak ellenére, hogy egyes kutatási eredmények szerint<sup>9</sup> ennek a fele is kellő hatékonyságú. Mivel azonban más hasonló vizsgálatok ezt nem igazolták, maradtunk a kitűzött paraméternél.

Ezek mentén tehát három méretben készültek béléstestek: 40 mm, 35 mm és 30 mm. A forma tekintetében minden méretből készült kúp (1. ábra) és félgömb (2. ábra) változat is.



1. ábra: 30 mm-es kúp alakú béléstest

Forrás: a szerző szerkesztése

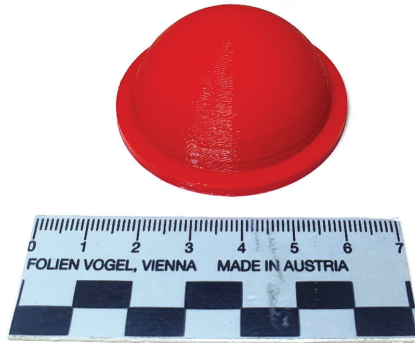
A béléstest forma esetében érdemes lehetőség lenne a dupla kúpos kialakítás, vagy a „trombita” forma tesztelése, de az erőforrások korlátozott száma miatt ezeket későbbre halasztottuk. További lehetőségként átgondoltuk a kúp csúcsa felé vékonyodó

<sup>7</sup> Angolul: *poly lactic acid*.

<sup>8</sup> A különböző gyártók technikai leírásai alapján a sűrűség változó lehet: 1,24–1,31 g/cm<sup>3</sup>.

<sup>9</sup> Agu 2019.

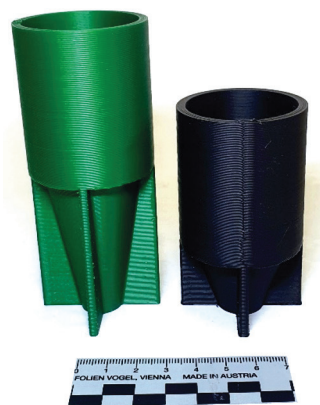
béléstestek vizsgálatát is, de az előbb említett probléma okán egyelőre ezt is elhagytuk. Ez utóbbi lehetőség a kialakult kumulatív sugár hegye és magja közötti egyensúly megteremtésében játszhat fontos szerepet. A nagyobb balansz hatására az elvi hossz is megnő, amely az átütési képesség tekintetében szintén jelentős tényező. Más anyagok használatát is felvetettük, de ekkor a vizsgálati mátrix olyan szinten kiszélesedett volna, hogy már nemcsak az anyagi erőforrás nem tette volna lehetővé a végrehajtást, hanem további kutatók bevonása lett volna szükséges a folyamatba. Ez utóbbit a támogató projekt nem tette lehetővé, viszont reméljük a jövőben lesz lehetőség a területen további eredményeket elérni.



2. ábra: 40 mm-es félgömb alakú béléstest

Forrás: a szerző szerkesztése

A töltetház esetében a fenti béléstestek kialakítása volt a méretezés alapja. Az anyag itt is PLA volt. A nyomtatások során minden típusnál két eltartási távolsággal készültek ezek az alkatrészecskék, amelyek a béléstestek belső átmérőinek egyszeresei vagy kétszeresei voltak (3. ábra). A kialakítás tekintetében a fókusztávolságot a visszaáramlását, valamint a kialakított támasz biztosította.



3. ábra: Töltetházak egyforma átmérővel és különböző eltartással

Forrás: a szerző szerkesztése

A jelentős számú kombináció és az eredmények igazolása céljából minden változatot duplán vizsgáltam (1. táblázat).

1. táblázat: Vizsgált töltetek kombinációi

Fsz.	Béléstest átmérője (mm)	Fókusz távolság (D)	Béléstest forma	Béléstest anyag	Mennyiség (db)
1.	30	1	kúp	PLA	2
2.	30	2	kúp	PLA	2
3.	30	1	félgömb	PLA	2
4.	30	2	félgömb	PLA	2
5.	35	1	kúp	PLA	2
6.	35	2	kúp	PLA	2
7.	35	1	félgömb	PLA	2
8.	35	2	félgömb	PLA	2
9.	40	1	kúp	PLA	2
10.	40	2	kúp	PLA	2
11.	40	1	félgömb	PLA	2
12.	40	2	félgömb	PLA	2
<b>Összesen</b>					<b>24</b>

Forrás: a szerző szerkesztése

### 3. A vizsgálat körülményei

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

A robbantási feladatot elektromos hálózat kialakításával hajtottuk végre, méretcsoportonként egy tűzben (3 robbantás, alkalmanként 8 töltet), soros hálózatba kötött rendszeresített villamos gyutacsok alkalmazásával. A robbantások során a tölteteket Semtex-H robbanóanyaggal töltöttük fel. A céltárgyakat és a rájuk helyezett tölteteket a talajban kialakított 300 x 300 mm alapterületű és 300 mm mély gödrökben helyeztük el. A gödröket egymástól a terep adottságainak figyelembevételével, de egymástól minimum 5 m távolságra alakítottuk ki.

A robbantási feladatot – mivel a hagyományos robbantási tevékenységtől nem tér el – a Mű/213 Robbantási utasítás vonatkozó rendszabályai alapján hajtottuk végre.

A kialakított töltetek paraméterei a 2. táblázat szerint alakultak. A kombinációk egyszerű, nyomon követhető kezelése és szerelése okán a típusokat egyedi elnevezéssel láttuk el, amely a béléstest belső átmérőjéből, a fókusz távolságból<sup>10</sup> és a béléstest formájából<sup>11</sup> tevődik össze.

<sup>10</sup> 1D = egy béléstest belső átmérőnyi eltartás; 2D = kettő béléstest belső átmérőnyi eltartás.

<sup>11</sup> K = kúp; FG = félgömb.

2. táblázat: Vizsgált töltetek paraméterei

Fsz.	Típus	Külső átmérő (mm)	Magasság (mm)	Töltetház tömege (g)	Béléstest tömege (g)	Robbanóanyag tömege (g)	Szerelt tömege (g)
1.	30-1D-K	46	80	40	8	70	118
2.	30-1D-K	46	80	40	8	70	118
3.	30-2D-K	46	110	53	8	71	132
4.	30-2D-K	46	110	56	8	71	135
5.	30-1D-FG	46	80	43	7	65	115
6.	30-1D-FG	46	80	43	7	65	115
7.	30-2D-FG	46	110	54	7	71	132
8.	30-2D-FG	46	110	56	7	70	133
9.	35-1D-K	51	90	51	9	100	160
10.	35-1D-K	51	90	51	9	100	160
11.	35-2D-K	51	125	67	9	101	177
12.	35-2D-K	51	125	67	9	102	178
13.	35-1D-FG	51	90	52	10	99	161
14.	35-1D-FG	51	90	52	10	98	160
15.	35-2D-FG	51	125	66	10	97	173
16.	35-2D-FG	51	125	66	10	96	172
17.	40-1D-K	60	100	66	13	160	239
18.	40-1D-K	60	100	66	13	161	240
19.	40-2D-K	60	140	90	13	162	265
20.	40-2D-K	60	140	92	13	162	267
21.	40-1D-FG	60	100	66	13	157	236
22.	40-1D-FG	60	100	66	13	156	235
23.	40-2D-FG	60	140	88	13	157	258
24.	40-2D-FG	60	140	92	13	158	263

*Forrás: a szerző szerkesztése*

A töltetek hatékonyságának vizsgálatához céltárgyakat alkalmaztunk (3. táblázat), amelyeket 4 mm vastag lemezekből alakítottunk ki. A lemezeket egyetlen táblából daraboltuk, hogy az eltérő anyagminőség ne befolyásolhassa az eredményeket. A kivágott lemezeket hegesztéssel rögzítettük egymáshoz és alapvetően kettő méretben, vastagságban készültek el. Ez utóbbira azért volt szükség, mert a legnagyobb változat esetén addigi tapasztalataink alapján biztosra vettük, hogy szükséges lehet a vastagabb változat.

3. táblázat: Vizsgált töltetek céltárgyai

Fsz.	Típus	Céltárgy
1.	30-1D-K	5 db 4 mm vastag és 50x50 mm-es egymásra hegesztett acéllemez Vastagsága: 20 mm
2.	30-2D-K	
3.	30-1D-FG	
4.	30-2D-FG	
5.	35-1D-K	
6.	35-2D-K	
7.	35-1D-FG	
8.	35-2D-FG	
9.	40-1D-K	6 db 4 mm vastag és 50x50 mm-es egymásra hegesztett acéllemez Vastagsága: 24 mm
10.	40-2D-K	
11.	40-1D-FG	
12.	40-2D-FG	

Forrás: a szerző szerkesztése

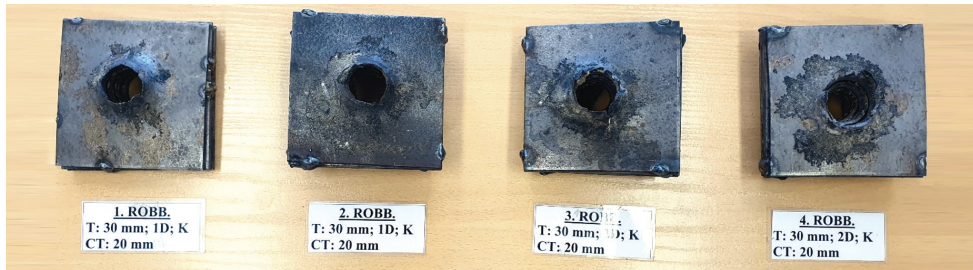
A céltárgyak ilyen kialakítása elviekben nem pótolja a homogén anyagon történő vizsgálatot, de a különböző töltetméretek teljesítményének egymáshoz viszonyítására alkalmas. A teljesítmény sok esetben még csökkenhet is a rétegződés miatt, hiszen a rétegek közé előfordulhat anyagbeáramlás átütéskor, ami csökkenti a kumulatív sugár hatékonyságát.

A töltetek elkészítésének folyamata:

- a töltetházak összeszerelése, az alkatelemek egymáshoz rögzítése pillanatragasztóval;
- a töltetek feltöltése plasztikus robbanóanyaggal;
- a feltöltött töltetekben a gyutacs helyének kialakítása formázó kupakkal;
- a töltetek tömegének ellenőrzése digitális mérleggel;
- a tölteteket rögzítése a céltárgyakhoz pillanatragasztóval;
- a rögzített töltetek behelyezése a robbantásra kialakított robbantó gödrökbe.

#### 4. A vizsgálati eredmények

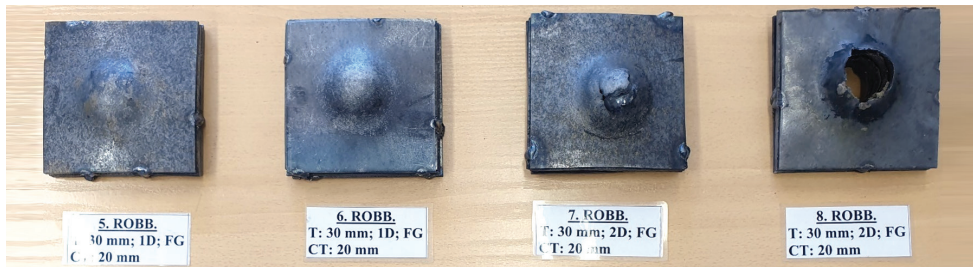
A 30 mm-es kúp alakú béléstestek alkalmazása esetében az eltartás 30 mm és 60 mm volt. A vizsgált töltetek mindkét eltartás esetében sikeresen átütötték a céltárgyakat. A kisebb eltartás esetében a felső lemezlapon nagyobb nyílás alakult ki, vélhetően a nagyobb visszaverődés miatt, és a kimeneti nyílás viszonylag egyenletes volt a jelentős kráterszerű megnyílás ellenére. A nagyobb eltartás kisebb nyílást eredményezett a felső lemezen, és a kimeneti nyílás jobban szétnyílt, mint a kisebb eltartás esetében.



4. ábra: 30 mm-es kúp alakú béléstesttel szerelt töltetek céltárgyai robbantás után

Forrás: a szerző szerkesztése

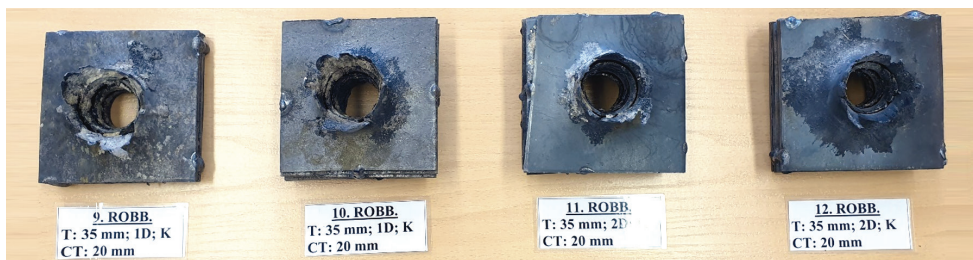
A 30 mm-es félgömb alakú béléstesttel szerelt töltetek a kisebb, 30 mm-es fókusztávolság esetén nem értek el átütést. A kialakult üregben a lemezekből kiszakított korongok halmozódtak fel, préselődtek össze. A dupla eltartás esetén (60 mm) ez utóbbi jelenség szintén azonosítható volt, és egy esetben részleges átütést eredményezett, míg a másikban meggyőző, teljes átütés volt tapasztalható. Mindezek azt igazolják, hogy a 30 mm-es béléstestek vonatkozásában, a bemutatott paraméterek mentén a kúp változat bizonyult hatékonyabbnak.



5. ábra: 30 mm-es félgömb alakú béléstesttel szerelt töltetek céltárgyai robbantás után

Forrás: a szerző szerkesztése

A 35 mm-es kúp alakú béléstestek mindkét eltartás (35 mm és 70 mm) esetében sikeresen átütötték a céltárgyakat. Mind a négy töltet homogén eredményt mutatott az átütésnél. A kilépő nyílások éles és jelentősen elnyúlt kraterszerű formát mutattak. A töltetek hatékonyságához kétség sem férhet.

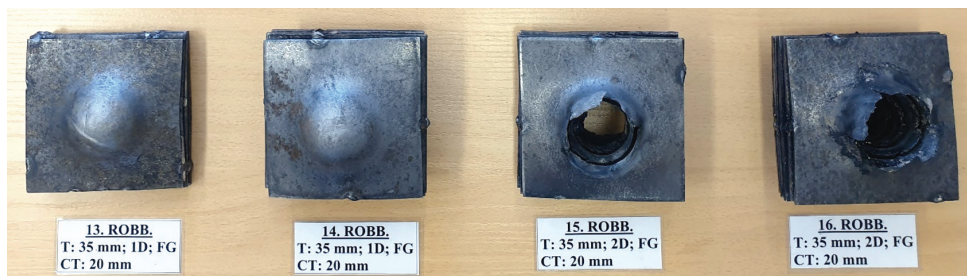


6. ábra: 35 mm-es kúp alakú béléstesttel szerelt töltetek céltárgyai robbantás után

Forrás: a szerző szerkesztése



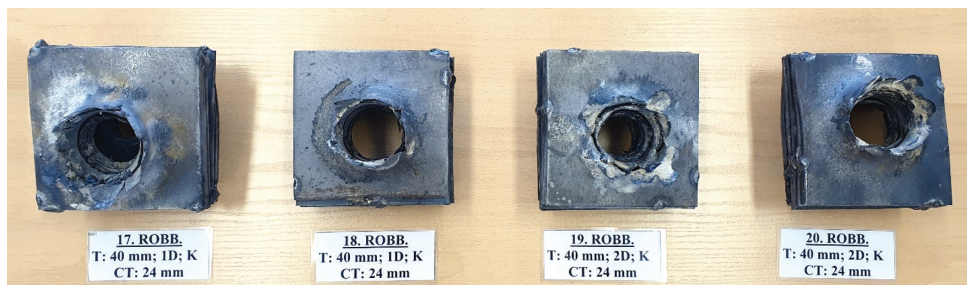
A 35 mm-es félgömb alakú béléstesttel szerelt töltetek a kisebb, 35 mm-es fókusztávolság esetén nem értek el átütést. A kialakult üregben a lemezekből kiszakított korongok halmozódtak fel, préselődtek össze. A céltárgy alján jelentős deformitás tapasztalható, mint az előző, 30 mm-es változatnál. A nagyobb eltartás esetén (70 mm) teljes átütés tapasztalható, mind a két töltet homogén eredményt mutatott. Ez az utóbbi eredmény azt a látszatot kelti, hogy a félgömbből formált kumulatív sugár nagyobb hatékonyságot mutat nagyobb eltartással.



7. ábra: 35 mm-es félgömb alakú béléstesttel szerelt töltetek céltárgyai robbantás után

Forrás: a szerző szerkesztése

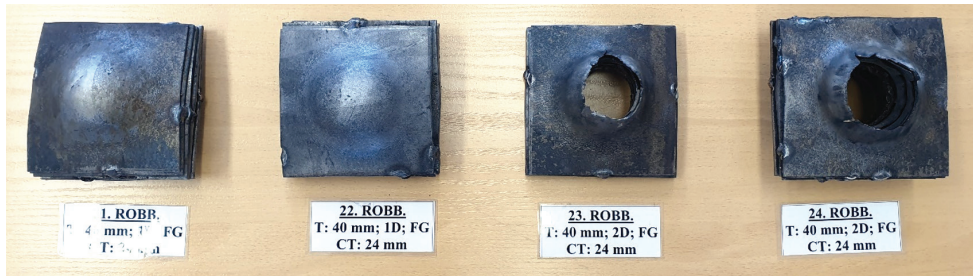
A 40 mm-es kúp alakú béléstestek mindkét eltartás (40 mm és 80 mm) esetében sikeresen átütötték az immár 24 mm vastag céltárgyakat. Mind a négy töltet homogén eredményt mutatott. A kilépő nyílás éles, magas peremű, alapvetően szétrnyíló formát mutatott.



8. ábra: 40 mm-es kúp alakú béléstesttel szerelt töltetek céltárgyai robbantás után

Forrás: a szerző szerkesztése

A 40 mm-es félgömb alakú béléstesttel szerelt töltetek a kisebb, 40 mm-es fókusztávolság esetén ebben a méretben sem értek el átütést. A kialakult üregben a lemezekből kiszakított korongok itt is felhalmozódtak. A nagyobb eltartás esetén (80 mm) teljes átütés tapasztalható, mind a két töltet homogén eredményt mutatott, bár a kúp változathoz képest a kilépőnyílás pereme kevésbé jelzi a töltetben rejlő átütési tartalékot (nem széttartó).



9. ábra: 40 mm-es félgömb alakú béléstesttel szerelt töltetek céltárgyai robbantás után

Forrás: a szerző szerkesztése

A töltetek szempontjából kijelenthető, hogy a kúp béléstest hatékonysága a vizsgált fókusztávolságokon több mint kielégítő. Mind a 12 ilyen béléstesttel szerelt töltet eredményesen átütötte a céltárgyakat. A legkisebb változat esetén már látszott, hogy az eltartás jelentősége nő, ha a robbanóanyag-töltet tömege csökken.

A félgömb alakú béléstestek esetében az egy béléstest átmérőnyi eltartás nem elégséges az eredményes átütéshez, de ennek duplája esetén már jelentősen hatékonyabb a töltet és képes a megfelelő munkavégzésre. A legkisebb méret esetén az utóbbi tapasztalat nem volt minden kétséget kizáróan igazolható.

A céltárgyak tekintetében azok kialakítása az alapvető vizsgálati célnak megfelelt, bár a homogén lemezekon végzett kontrollvizsgálatok esetén előfordulhat majd eltérés.

További vizsgálatokat tartunk szükségesnek kisebb töltetekkel (25 mm, illetve 20 mm), valamint néhány tesztet visszaáramlását nélküli töltetekkel. Ez utóbbi igazolhatja vagy cáfolhatja az alkatelem szükségességét.

## 5. Összegzés

A vizsgált töltetek száma és típusa megfelelt az elvárásoknak. Sikerült végrehajtani a további kutatási irányok, méretezési megoldások közötti szűkítést, bár egyben új feladatok is adódtak, mivel a legkisebb változat is képes volt megbízhatóan átütni a céltárgyat. Ez a gyakorlatban létjogosultságot biztosít kisebb átmérővel szerelt változatok méretezésére és tervezésére. Ez utóbbi tekintetben legalább két további kisebb méretet tartunk szükségesnek.

A béléstestek közül sikerült egyértelmű választ kapni a további vizsgálandó irányra. A kúp forma hatékonysága kiemelkedő volt a félgömbhöz képest, bár ez nem azt jelenti, hogy a jövőben nem lehetne hatékonyabb töltetváltozatot kialakítani félgömb béléstesttel. Pusztán az jelenthető ki, hogy a félgömb béléstest teljesítménye a fenti paraméterek mentén elmarad a kúphoz képest.

A remek átütési eredmények azt jelzik előre, hogy van jövője ennek a kumulatív-töltet-típusnak a robbantástechnikában, civil és katonai vonalon egyaránt. Civil vonalon érdemes lehet majd jövőbeli vizsgálatra például jégrobbantás esetén a műtárgyak jégmentesítése egyes részfeladatainak támogatása. Hasonló eredményes felhasználási terület lehet a tűzszerész szakfeladatok során a különböző robbanótestek

hatástalanítása, úgymint hagyományos robbanótestek, improvizált<sup>12</sup> robbanótestek és az ABV-tűzserézet<sup>13</sup> egyes feladatai.

## Felhasznált irodalom

- Agu, Henry Obediah (2019): *The Effect of 3D Printed Material Properties on Shaped Charge Liner Performance*. PhD-értekezés. United Kingdom, Cranfield University. Online: <https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/handle/1826/15285>
- Berek Tamás (2016): ABV (CBRN) tűzserézcsoport mint a biztonsági kihívásokra adott válaszlépés. *Bolyai Szemle*, 25. évf. 4. sz. 22–34. Online: <https://bit.ly/3krGDaR>
- Boda József – Boldizsár Gábor – Kovács László – Orosz Zoltán – Padányi József – Resperger István – Szenes Zoltán (2016): A hadtudományi kutatási irányok, prioritások és témakörök. *Allamtudományi Műhelytanulmányok*, 16. sz. 1–23. Online: [www.med.u-szeged.hu/download.php?docID=90702](http://www.med.u-szeged.hu/download.php?docID=90702)
- Doig, Alistair (1998): Some Metallurgical Aspects of Shaped Charge Liners. *Journal of Battlefield Technology*, 1. évf. 1. sz. 1–3.
- Kovács Zoltán (2012): Fontos létesítmények IED elleni védelme. *Műszaki Katonai Közlöny*, 22. évf. ksz. 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](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 (2020): A többkomponensű robbanóanyagok múltja, jelene és jövője. *Katonai Logisztika*, 28. évf. 4. sz. 58–75. Online: <https://doi.org/10.30583/2020.4.058>
- Lukács László (1992): *A kumulatív hatás és a kumulatív töltetek méretezése. Jegyzet a Szárazföldi Haderőnemi Fakultás műszaki hallgatói számára*. Magyar Honvédség, Zrínyi Miklós Katonai Akadémia Műszaki Tanszék.
- Lukács László (2010): *A kumulatív töltetek és gyakorlati alkalmazásuk*. *Műszaki Katonai Közlöny*, 20. évf. 1–4. 175–185.

<sup>12</sup> Kovács 2012.

<sup>13</sup> Berek 2016.