

Ember István*

Modern kumulatív töltetek hatékonyságának vizsgálata

BEVEZETÉS

A kumulatív töltetek alkalmazása a robbantástechnika egy meglehetősen speciális területe. A szakemberek olyan helyzetekben alkalmazzák ezeket az eszközöket, amikor a robbantás fókuszálásával szükséges kilyukasztani egy céltárgyat. Ez a hatalmas, összpontosított energia képes többek között vastag páncélzat átütésére, de egyes különleges változatai „jégpáncél” robbantása esetén is alkalmazhatók. [1]

Mivel a katonai műszaki kutatásoknak kiemelt része a robbantás, így a vizsgált téma is fontos szerepet tölt be, és illeszkedik a szakma meghatározó kutatási irányaihoz. [2] Mint minden veszélyes tevékenység, a robbantás is megköveteli, hogy a kor színvonalának megfelelő modern eszközökkel műveljék annak érdekében, hogy a biztonság, a hatékonyság és a gazdaságosság egyaránt optimális legyen. [3] A 3D-s nyomtatók alkalmazása is fontos része lehet ennek az igénynek. Ezek az eszközök elsősorban mintapéldányok készítésére alkalmasak, de kis darabszámú sorozatok esetében a gyártás eszközei is lehetnek. A széles körben ismert technológia jelenleg még nem képes robbanóanyagok ilyen jellegű nyomtatására, de a töltetek formai elemei akadálymentesen elkészíthetők az eljárással.

A modern nyomtatók tehát lehetővé teszik, hogy a 3D-s modelleket különböző additív technológiákkal készítsük el. Napjaink kutatásai a robbantástechnika, és különösen a kumulatív töltetek területén több ilyen módszert érintenek. Folytak vizsgálatok olvasztásos (SLM – Selective Laser Melting) módszerrel készített béléstestek területén, ahol a hatékonyság fém alapanyag esetében kielégítő volt. [4] Egy másik kísérleti úton a legfrissebb eredmények a szintereléses (SLS – Selective Laser Sintering) módszerrel születtek, ahol rész-ön ötvözetű béléstestek összehasonlító vizsgálatát végezték el. [5] Ez utóbbi esetében a hagyományoshoz képest az új technológiával készült béléstest jobb nyúlási stabilitást mutatott.

Tanulmányunkban bemutatjuk egy ilyen speciális, robbantásokhoz alkalmas eszköz készítésének lépéseit, vala-

mint hatékonyságát és alkalmazhatóságát is vizsgálni fogjuk egyes tűzserész szakfeladatokkal kapcsolatban. Feltelezésünk szerint a kialakított változatok képesek lesznek hatékonyan átútni a hatástalanításra váró, közepes űrméretű tűzserégi gránátok falát. Az elvárt eredményen túl kísérletet teszünk annak elsődleges igazolására, hogy az átütés megkíméli-e a robbanótetekben lévő egyes elemeket, mint pl. a detonátorperselyt. Ez utóbbi eredmény nagyban hozzájárulhat a tűzserész szakemberek által végzett robbantásos hatástalanítások biztonságosabb végrehajtásához.

A KUMULATÍV TÖLTETEK ÉS A 3D-S NYOMTATÁS

A kumulatív hatást már a 19. század végén felfedezték, és a robbantástechnikában több területen is alkalmazzák. [6] [7] Az ilyen töltetek paraméterei a hatékonyságuk szempontjából meghatározók. A belső elemek egymástól való távolsága és a forgástengelyhez pozicionálása kulcsfontosságú kérdés a gyártás során, mert a pontos összeszerelés optimalizálja a töltet hatékonyságát. A töltetek több elemből állnak (1. ábra), és legtöbbjük nélkülözhetetlen a kívánt penetráció eléréséhez. Létezik azonban néhány olyan elem is – mint például az inert lencse –, amely a penetráció javítását szolgálja, és a töltet ennek hiányában is lehet kellően hatékony.

A fókuszált robbantási energia döntően fém béléstesteken keresztül éri el a céltárgyat, legyenek azok egyszerű fémelemek vagy például egy harckocsi páncélzata. A deformált béléstestet, amelyet a szaknyelvben „jet”-ként nevezünk, becsapódáskor extrém sebesség, nyomás és hőmérséklet jellemzi, amelynek következtében a céltárggyal leírt fizikai viselkedése ideális folyadékok egymásra hatásaként határozható meg. Mindez annak ellenére van így, hogy a fém „jet” hőmérséklete alapján nem lehet folyékony halmazállapotú. [8][9]

Béléstestként vizsgáltak már műanyagokat, kompozitokat és polimereket; ezek a kísérletek előremutató eredménye-

ÖSSZEFOGLALÁS: A modern megoldások alkalmazása a robbantástechnikában elengedhetetlen feltétele a hatékonyságnak és a biztonságnak. A 3D-s nyomtatók egyes esetekben jelentős előnyöket hozhatnak ezen a területen is. A vizsgált kumulatív töltetek kizárólag műanyagból készültek, és képesek átlýukasztani egy közepes űrméretű tűzserégi gránát falát. A további eredmények azt is igazolják, hogy a gránát belsejében a „jet” (béléstest) hatékonysága számottevően lecsökken, amely jelentősen növeli a biztonságos alkalmazhatóságát.

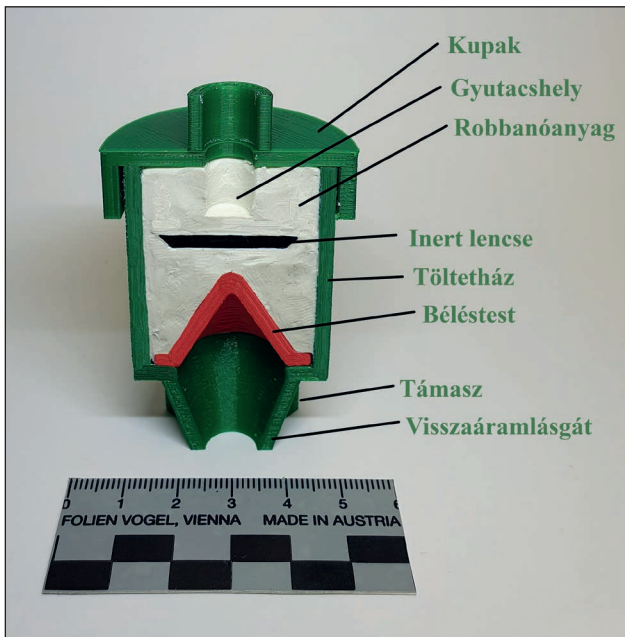
KULCSSZAVAK: kumulatív töltet, robbantás, 3D-s nyomtatás, béléstest, hatástalanítás

ABSTRACT: The modern solutions in the blasting technique are vital conditions of efficiency and safety. In some special cases the 3D printers provide enormous benefits in this field. The tested shaped charges were made only of plastic, and they are capable to penetrate a medium calibre artillery projectile's body. The other outcome of the tests shows us that the efficiency of „jet” is decreasing significantly inside the projectile, which improves the possibilities of safe utilization.

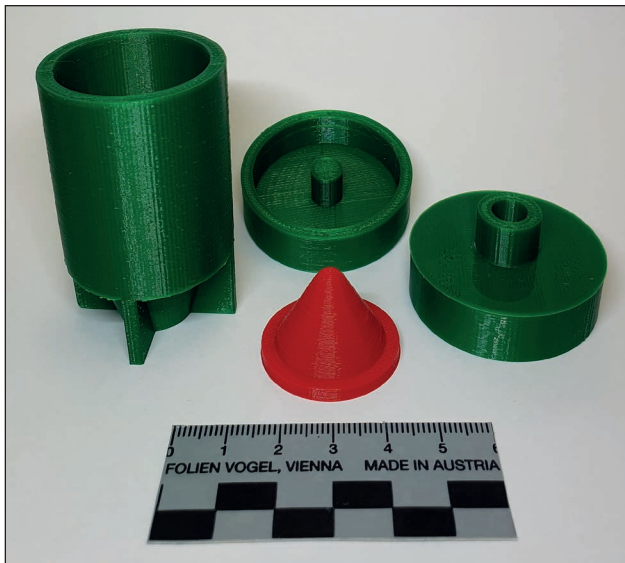
KEY WORDS: shaped charge, blasting, 3D printing, liner, disarming

* Alezredes, MSc, tanársegéd, NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Műveleti Támogató Tanszék; doktorandusz, NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Hadtudományi Doktori Iskola. ORCID: 0000-0002-9877-0366





1. ábra. A kumulatív töltetek fő részei (A szerző szerkesztése)



2. ábra. A kinyomtatott kumulatív töltetek elemei (A szerző felvétele)

ket hoztak [10][11], és a felsorolt alapanyagokat egyes speciális esetekben napjainkban is alkalmazzák. A 3D-s nyomtatás azonban kitágította a kísérletezési lehetősége-

ket. Több olyan szakmai tanulmány is született, amely a 3D-s nyomtatással készült kumulatív töltetek kialakítását, hatékonyságának körülményeit vizsgálta. [12]

A robbanóanyag – fő töltéként – szintén meghatározó eleme a kumulatív hatás kialakulásának, amelyet nem lehet figyelmen kívül hagyni. Mivel a hatékonysághoz elengedhetetlen a viszonylag nagy detonációs sebesség, ezért alapvetően valamilyen magas hatóerejű robbanóanyagot kell a töltetekben alkalmazni. Ipari körülmények között számításba jöhet például a préselt hexogén, helyszíni elkészítés esetén azonban már valamilyen plasztikus katonai robbanóanyagról kell beszélnünk, mint például a Semtex [13] hadi változatai.

A jelen tanulmányban bemutatott vizsgálatokhoz szükséges töltetek elkészítését hosszas méretezési, tervezési folyamat előzte meg. Ezeken túl több vizsgálat is lezajlott mielőtt sikerült optimalizálni a tölteteket a kitűzött célokhoz. A méretezés célkitűzései az alábbiak voltak:

- a töltet legyen képes 15 mm vastagságú homogén acél átütésére, ezzel megteremtve a lehetőséget a későbbiekben vegyi töltetű tűzérési gránátok hatásaltalanításához;
- az elemek mindegyike valamilyen műanyagból készüljön;
- legyen könnyen kinyomtatható, lehetőleg szálhúzásos rendszerű (FDM – Fused Deposition Modelling¹) 3D-s nyomtatóval;
- legyen könnyen összeszerelhető az alkotóelemekből;
- legyen az alkalmazási helyszínen összeszerelhető;
- készüljön viszonylag kevés plasztikus robbanóanyaggal (kevesebb, mint 50 g).

Ezeknek a célkitűzéseknek kétféle, 20 mm belső átmérőjű, kúp alakú béléstesttel szerelt változat felelt meg. A töltetek elemei a töltetházból, a béléstestből, a formázó kupakból (újra felhasználható) és a gyutacs megtámasztására szolgáló kupakból állnak. (2. ábra)

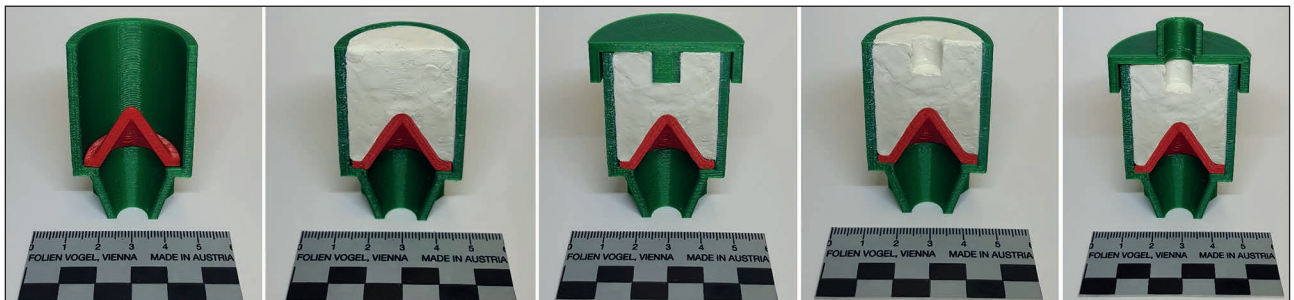
A töltetek összeszerelésének mozzanatai az alábbiak (3. ábra):

- a béléstest behelyezése a töltetházba (rögzítése szükség esetén ragasztással történik);
- a töltetház feltöltése plasztikus robbanóanyaggal (Semtex-H);
- a robbanóanyaggal feltöltött töltetekben a gyutacs helyének kialakítása a formázó kupakkal;
- a formázó kupak eltávolítása;
- a gyutacs megvezetésére szolgáló kupak felhelyezése a töltetre.

A HATÁSVIZSGÁLAT TÖLTETEI ÉS CÉLTÁRGYAI

A töltetek 3D-s nyomtatással készültek, Craftbot 3 típusú nyomtatókkal. Az alkalmazott nyomtatási alapanyag

3. ábra. A kumulatív töltet elkészítésének folyamata (A szerző felvételei)



1. táblázat. A tesztekhez készített töltetek változatai (A szerző szerkesztése)

Fsz.	Béléstest átmérője	Fókusz távolság	Béléstestforma	Béléstestanyag	Toldalék	Mennyiség
1.	20 mm	1D	kúp	PLA	10,5 cm-es gránáthoz	3 db
2.	20 mm	2D	kúp	PLA		3 db
3.	20 mm	1D	kúp	PLA	122 mm-es gránáthoz	3 db
4.	20 mm	2D	kúp	PLA		3 db
5.	20 mm	1D	kúp	PLA	–	3 db
6.	20 mm	2D	kúp	PLA	–	3 db
Összesen						18 db

politejsav (PLA – Polilactic Acid) volt. A nyomtatás paramétereinek részletes bemutatására a jelen tanulmányban nincs lehetőség, azonban megjegyezzük, hogy az egyes elemek azonos reprodukciós körülmények között készültek.

A töltetek elnevezése az alábbi elvek mentén alakult, hogy pontosan beazonosíthatók legyenek a felhasználás helyén. Az első adat a béléstest belső átmérője (ez minden esetben 20 mm volt), a második a fókusz távolság, amely a belső átmérővel megegyező (1D), vagy annak duplája (2D), a harmadik a béléstest formája (jelen vizsgálatnál minden esetben kúp, azaz „K”). A negyedik adat opcionális, abban az esetben tüntettük fel, ha a töltetet tűzérési gránáthoz alkalmaztuk.

A robbantásokhoz több mint 30 töltethez szükséges elem készült el, de csak 18 db felrobbantása volt szükséges a sikeres vizsgálathoz. A felrobbantott töltetek az 1. táblázat szerinti bontásban készültek el. A tűzérési

gránátok átütéséhez tervezett tölteteket egy-egy íves todalékkal egészítettük ki, hogy megfelelően illeszkedjenek a gránátok hengeres felületére. A fenti okok miatt, a bemutatott ábrákon a töltetek számozása nem releváns a vizsgálat szempontjából.

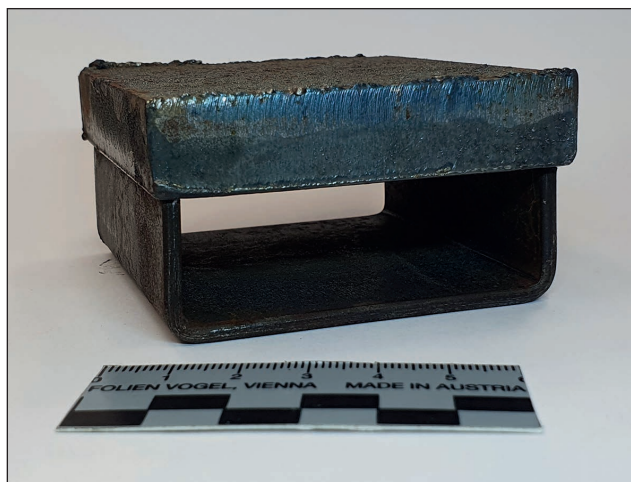
A töltetek részletes paramétereit a 2. táblázatban feltüntetett adatok mutatják. A helyszíni töltést követően a robbanóanyag tömegét mérésel ellenőriztük, amely 31,2 g és 32,8 g közötti értékre adódott. Az 1,4 g legnagyobb különbség a vizsgálat szempontjából nem jelentős, és jól szemlélteti a helyszíni töltésben rejlő hibahatárokat. Ebből az utóbbi szempontból tehát kívánatos, hogy az adott kumulatív töltet ilyen körülmények, azaz ilyen hibahatár esetén is képes legyen az elvárt teljesítményre.

A céltárgyként 1 db 10,5 cm-es magyar gyakorló repeszromboló tűzérési gránátot, 1 db 122 mm-es szovjet gyakorló repeszromboló tűzérési gránátot és 6 db speciális céltárgyat használtunk. A tűzérési gránátokon történő

2. táblázat. A vizsgált kumulatív töltetek paramétereit (A szerző szerkesztése)

Fsz.	Típus	Külső átmérő (mm)	Magasság (mm)	Töltetház tömege (g)	Béléstest tömege (g)	Robbanóanyag tömege (g)	Szerelt tömege (g)
1.	20-1D-K-10,5	36	64	24,7	3,8	32,6	61,1
2.	20-1D-K-10,5	36	64	24,7	3,8	31,9	60,4
3.	20-1D-K-10,5	36	64	24,8	3,8	32,5	61,1
4.	20-1D-K-122	36	63	25,9	3,8	32	61,7
5.	20-1D-K-122	36	63	23	3,8	32,6	59,4
6.	20-1D-K-122	36	63	25,1	3,8	32,1	61
7.	20-2D-K-10,5	36	84	32,5	3,8	32	68,3
8.	20-2D-K-10,5	36	84	31,2	3,8	32,1	67,1
9.	20-2D-K-10,5	36	84	32,4	3,8	31,3	67,5
10.	20-2D-K-122	36	83	30,9	3,8	31,9	66,6
11.	20-2D-K-122	36	83	32,6	3,8	32,4	68,8
12.	20-2D-K-122	36	83	32,5	3,8	31,6	67,9
13.	20-1D-K	36	61	24,4	3,8	31,8	60
14.	20-1D-K	36	61	22,8	3,8	32,7	59,3
15.	20-1D-K	36	61	24,7	3,8	32,4	60,9
16.	20-2D-K	36	81	31,2	3,8	32	67
17.	20-2D-K	36	81	31,7	3,8	31,2	67,7
18.	20-2D-K	36	81	32	3,8	32,8	68,6





4. ábra. A speciális céltárgy (A szerző felvétele)

tesztelés lehetőségét biztosít, hogy minden kétséget kizáróan igazolható legyen a töltet hatékonysága, akár éles eszközök hatástalanítása esetén is.

A 4. ábrán látható speciális céltárgy egy különleges helyzet modellezésére alkalmas. Mivel a fém béléstesttel szerelt töltetek jelentős átütést képesek okozni, így nagy körültekintést igényel az alkalmazásuk. Számításba kell venni a belső elemek elhelyezkedését, és számolni kell azok esetleges roncsolásával is. A műanyagok esetében feltételezhető, hogy az optimalizált átütési képességű töltet nem végez további hatékony lyukasztást a belső elemeken, mint a detonátorpersely. A speciális céltárgy ezt a helyzetet hivatott modellezni: a 15 mm vastag acéllemez, mint a tűzérési gránát fala, majd 20 mm távolság – amely a tűzérési gránátokban szemlélteti a detonátor és a gránáttest belső falának távolságát –, és végül a 3 mm vastag lemez, amely a detonátorpersely falát modellezi.

A robbantásokhoz plasztikus robbanóanyagot alkalmaztunk, de megjegyzendő, hogy folyékony halmazállapotú típus esetén a töltetház kitöltése minden esetben maximális lenne. Természetesen ebben az esetben a bélésrögztése kizárólag szigetelő hatású ragasztóval történhet, amely nem lép reakcióba az alkalmazott robbanóanyaggal. További lehetőség lehet a biztonságos alkalmazás érdekében, ha akár a helyszínen készre keverhető, folyékony halmazállapotú, többkomponensű robbanóanyagot alkalmazunk. [12] Ilyen paraméterekkel rendelkező robbanóanyag jelenleg még nincs alkalmazásban a Magyar Honvédségben, de mindenképpen előremutató lenne a rendszeresítés mérlegelése.

A ROBBANTÁSOK EREDMÉNYEI

A robbantásokkal alapvetően sikerült elérni az elvárt eredményt. A 10,5 cm-es magyar gyakorló tűzérési gránáton mindkét típusú (egy átmérőnyi és dupla átmérőnyi) eltartással vizsgáltuk a töltetek hatékonyságát, típusonként 3–3 db töltettel. A kisebb változat esetén 12–13 mm átmérőjű homogén lyukakat sikerült kialakítani, azonban egy esetben nem volt teljes az átütés. A két sikeres robbantás esetében a tölteteket 72 mm-re, illetve 73 mm-re helyeztük el a vezetőgyűrűtől a hengeres részen, ahol a falvastagság 15 mm körüli. A sikertelen robbantás csak 28 mm-re történt a vezetőgyűrűtől, ahol a gránát falának vastagsága 18 mm körüli, a kialakult lyuk mélysége pedig a legmélyebb pontján 16 mm volt. Ez az eredmény igazolja, hogy a töltet



5. ábra. A 122 mm-es szovjet gyakorló tűzérési gránatra helyezett kumulatív töltet (fent) és a robbantás után keletkezett lyukak (lent) (A szerző szerkesztése)

valóban képes az elvárt 15 mm-es átütési teljesítményre. A robbantások helyén a belépő felületen alacsony (cca. 2 mm) perem alakult ki a lyukak körül.

A dupla fókusz-távolsággal készült változatok mindegyike átütötte a céltárgyat. Az elhelyezésnél a fenti tapasztalatok alapján 71 mm-re, 75 mm-re és 77 mm-re helyeztük el a vezetőgyűrűtől a tölteteket a céltárgy hengeres részén. A létrejött lyukak körül 1–3 mm-es perem alakult ki, a behatolás átmérője 9–12 mm közötti intervallumban mozgott. Meg kell jegyezni, hogy a lyukak nem egyenletesek; átmérőjük változó volt, alakjuk helyenként eltért a szabályos körtől.

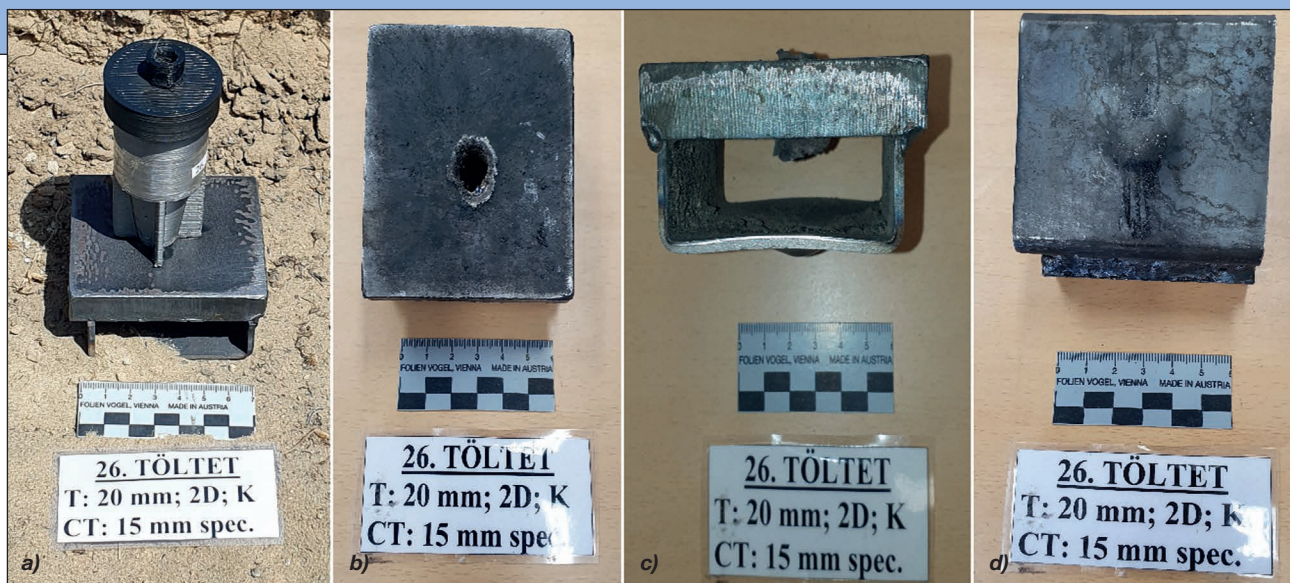
A 122 mm-es szovjet gyakorló tűzérési gránát robbantásakor is az elvárt eredmények születtek. Ebben az esetben is két fókusz-távolságú változatot vizsgáltunk, típusonként 3–3 db töltetet robbantottunk fel. A kisebb tölteteket a vezetőgyűrűtől 58–61 mm-re helyeztük el, a hengeres részen. Mindhárom töltet sikeresen átütötte a gránát falát. A behatolás helyén 15–35 mm átmérőig kráter szerű anyag-töredékes alakult ki. A lyukak átmérője 12–13 mm között alakult, és alakjuk közelítően szabályos volt.

A nagyobb eltartás esetén szintén sikeres átütést tapasztaltunk (5. ábra). A fenti eredmények alapján a vezetőgyűrűtől 53–54 mm-re helyeztük el a tölteteket, hogy biztosan az elvárt falvastagságon végezzük a vizsgálatokat. A lyukak körül itt is tapasztalható volt anyag-töredékes (0–25 mm átmérőig), és az üreg átmérője nem volt homogén, 10–12 mm körül alakult.

A speciális céltárgyak esetében szintén mindkét fókusz-távolságú töltetet vizsgáltuk, a már bevált 3–3 darabos ismétlésszámmal. A kisebb változatok esetén 13–14 mm átmérőjű lyukat sikerült kialakítani, ahol jól látható perem alakult ki a belépő és kilépő felületeken. A teljes átütés mellett az alsó lemezen csak deformálás volt tapasztalható.

A dupla eltartású típus esetében a fenti tapasztalatok ismétlődtek (6. ábra). A kialakult lyukak átmérője – amely nem homogén az üregben – kisebb lett az előző változathoz képest (8–11 mm). Itt is tapasztalható perem a belépő és a kilépő éleken, és egyetlen esetben sem okozott deformációnál nagyobb kárt az alsó lemezben a robbantás.

Jól beazonosítható tehát, hogy a töltetek képesek a céltárgyakkal kapcsolatban kitűzött, elvárt célok teljesítésére. Hangsúlyozni kell azonban, hogy pozicionálásuknál fontos figyelembe venni a gránát falvastagságát. A magyar 10,5 cm-es repesz-romboló tűzérési gránátok esetében,



6. ábra. A speciális céltárgyra helyezett kumulatív töltet a), a robbantás eredménye felülnézetben b), oldalnézetben c) és alulnézetben d) (A szerző felvételei)

a vezetőgyűrűtől 75 mm-es távolságban, a hengeres részen a siker biztosra mondható. A 122 mm-es szovjet repesz-romboló tűzérési gránátok esetében 60 mm a megfelelő távolság.

A speciális céltárgyakon elért eredmények azt mutatják, hogy a töltet optimalizálása megfelelően sikerült, mert a céltárgyat átütve gyorsan veszít hatékonyságából a „jet”. Ez a jelenség egyes tűzzerész feladatoknál kifejezetten hasznos lehet, elsősorban akkor, ha a detonátorpersely átütése további nem várt robbanást okozna. Mivel egyik céltárgyon sem keletkezett lyuk, ezért kijelenthető, hogy nagy valószínűséggel éles robbanótesteken is hasonló eredmény születne, ennek bizonyítása azonban még további vizsgálatokat követel éles tűzérési gránátokkal, valós körülmények² között.

ÖSSZEZÉS

Az elvégzett tesztek igazolták a töltetekkel kapcsolatos elvárásokat. Mindkét változat képes volt két jelentősen eltérő, közepes úrméretű tűzérési gránát kilyukasztásra. A penetrációt vizsgálva kijelenthető, hogy az optimalizációs folyamat elérte célját, a 15 mm-es átütés a maximális határérték közelében található, ezt az értéket azonban mindkét változat stabilan teljesíti. A kialakult lyukakat értékelve, a kisebb eltartással készült változatot javasoljuk további alkalmazásra, mert teljesítmény-különbség nincs, éppen ellenkezőleg, még meggyőzőbb eredményeket produkált. Mindezeket túl a kisebb méret gyorsabb nyomtatást és kevesebb alapanyag-felhasználását eredményez.

A speciális céltárgyakon végzett kísérletek azt mutatják, hogy az éles gránátokon történő felhasználás esetén a fém béléstesttel szerelt típusokkal ellentétben a robbanótestek belsejében a hatékonyság jelentősen lecsökken, és nagy eséllyel a „jet” nem okoz átütést a detonátorperselyen. Ez nagyban segítheti a nem várt detonáció bekövetkezésének elkerülését, figyelembe véve, hogy a detonátorokban döntően magas hatóerejű robbanóanyagok találhatóak. Az ilyen típusú robbanóanyagok legtöbbször detonációval [14], deflagrációval³, esetleg elégéssel reagálnak az ehhez hasonló direkt behatásra.

Annak ellenére, hogy a fent vizsgált kumulatív töltetek elsősorban vegyi harcanyaggal töltött tűzérési gránátok hatástalanításakor alkalmazhatók ABV (atom, biológiai és vegyi, CBRN EOD – Chemical, Biological, Radiological and

Nuclear Explosive Ordnance Disposal) tűzzerész szakfeladat [15] során, érdemesnek tartjuk megvizsgálni hatékonyságukat improvizált robbanótestek (IED – Improvised Explosive Device) [16] hatástalanítása, részegységeinek megsemmisítése esetén is.

Végül kijelenthető, hogy a kitűzött célok mindegyike megvalósult. Sikerült két olyan töltetet is kialakítani, amelyek megfelelnek a 15 mm-es átütési elvárásnak, és alkalmazhatók lehetnek tűzzerész szakfeladatok során. A továbbiakban fejlesztendő területnek tartjuk a kupak mentes vagy bajonettzárás rögzítésének kialakítását.

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.



INNOVÁCIÓS ÉS TECHNOLÓGIAI
MINISZTERIUM



Új Nemzeti
Kiválóság Program

HIVATKOZOTT IRODALOM

- [1] Daruka Norbert: „Jégvédekezés robbantással.” *Műszaki Katonai Közlöny*, 24. (4) (2014): pp. 51–67. https://mkk.uni-nke.hu/document/mkk-uni-nke-hu/2014_4_4_Jegvedekesz%20robbantassal.pdf (Letöltve: 2022.7.15.);
- [2] Boda József, Boldizsár Gábor, Kovács László, Orosz Zoltán, Padányi József, Resperger István, Szenes Zoltán: “A hadtudományi kutatási irányok, prioritások és témakörök.” *Államtudományi Műhelytanulmányok*, 16. (2016): pp. 1–23.; <http://www.med.u-szeged.hu/download.php?docID=90702> (Letöltve: 2022.7.15.);
- [3] Padányi József: *A Magyar Honvédség műszaki csapatainak lehetőségei és feladatai békeidőben a természeti- és civilizációs katasztrófák megelőzésében és a következmények felszámolásában*. Kandidátusi értekezés, Budapest, 1994., p. 63.;
- [4] Mulligan, Phillip, Johnson, Catherine, Ho, Johnson, Lough, Cody, Kinzel, Edward: “3D Printed Conical Shaped Charge Performance.” *Proceedings of the*



- 2019 Hypervelocity Impact Symposium, 2019, Destin, United States of America;
- [5] Sun, Shengjie, Jiang, Jianwei, Men, Jianbing, Li, Mei – Wang, Yawei: “Comparison of Shaped Charge Jet Performance Generated by Machined and Additively Manufactured CuSn10 Liners.” *Materials*, 14. (23) (2021): p. 7149. DOI: 10.3390/ma14237149;
- [6] Lukács László: *A kumulatív hatás és a kumulatív töltetek méretezése. Jegyzet a Szárazföldi Haderőnémi Fakultás műszaki hallgatói számára.* Magyar Honvédség, Zrínyi Miklós Katonai Akadémia, Műszaki tanszék, 1992.;
- [7] Lukács László: „A kumulatív töltetek és gyakorlati alkalmazásuk.” *Műszaki Katonai Közlöny*, 20. (1–4) (2010): pp. 175–185.; <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/mkk/article/view/2866/2122> (Letöltés: 2022.7.15.);
- [8] Doig, Alistair: Some Metallurgical Aspects of Shaped Charge Liners. *Journal of Battlefield Technology*, 1. (1) (1998): pp. 1–3.;
- [9] Hatala András: Úreges töltetek I. rész. *Haditechnika*, 44. (2) (2010): p. 72.
- [10] Yi, Jianya – Wang, Zhijun – Yin, Jianping – Zhang, Zhimin: “Simulation Study on Expansive Jet Formation Characteristics of Polymer Liner.” *Materials*, 12. (5) (2019): p. 744.;
- [11] Chang, B. H. – Yin, J. P. – Cui, Z. Q. – Liu, T. X.: „Numerical Simulation of Low-Density Jet Penetrating Shell Charge.” *International Journal of Simulation Modelling*, 14. (3) (2015): pp. 426–437.;
- [12] Agu, Henry Obediah: *The effect of 3D printed material properties on shaped charge liner performance.* PhD értekezés, Cranfield University, United Kingdom, 2019. <https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/handle/1826/15285> (Letöltve: 2022.7.15.);
- [13] Daruka Norbert: „Robbanóanyag-ipari alapanyagok és termékek osztályozásának lehetőségei.” *Műszaki Katonai Közlöny*, 26. (1) (2016): pp. 26–44. <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/mkk/article/view/2187/1456> (Letöltve: 2022.7.15.);
- [14] Kugyela Lóránd: „A többkomponensű robbanóanyagok múltja, jelene és jövője. *Katonai Logisztika*.” 28. (4) (2020): pp. 58–75. <https://www.mkle.net/products/a2020-4-szam/> (Letöltve: 2022.7.15.);
- [15] Steckiewicz, Arthur, Trzcinski, Waldemar: *Investigation of the reaction of energetic materials on jet impact.* 17TH International Seminar New Trends in Research of Energetic Materials, Pardubice, University of Pardubice, 2014, pp. 1038–1049.;
- [16] Berek Tamás: ABV (CBRN) tűzszerészcsoporthoz, mint a biztonsági kihívásokra adott válaszlépés. *Bolyai Szemle*, 25. (4) (2016): pp. 22–34. [https://nkerepo.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/14564/ABV%20\(CBRN\)%20%20zszer%E9szcsoport,%20mint%20a%20biztons%E1gi%20kih%E1sokra%20adott%20v%E1laszl%E9p%E9s.pdf?sequence=1](https://nkerepo.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/14564/ABV%20(CBRN)%20%20zszer%E9szcsoport,%20mint%20a%20biztons%E1gi%20kih%E1sokra%20adott%20v%E1laszl%E9p%E9s.pdf?sequence=1) (Letöltve: 2022.7.15.);
- [17] Kovács Zoltán: Fontos létesítmények IED elleni védelme. *Műszaki Katonai Közlöny*, 22. (ksz.) (2012): pp. 35–44. https://mkk.uni-nke.hu/document/mkk-uni-nke-hu/2012_k_05%20IED%20elleni%20v%C3%A9delem%20-%20Kov%C3%A1cs_Z.pdf (Letöltve: 2022.7.15.).

JEGYZETEK

- 1 Az eljárás során a nyomtató egy műanyag szálát (filamentet) olvaszt meg, amelyből elkészíti a kívánt formákat.
- 2 Korrodált felületű robbanótest, ismeretlen állapotú robbanóanyag vagy harcanyag a gránáttestben stb.
- 3 A deflagráció robbantástechnikai szakkifejezés. A detonációnál és a robbanásnál lassabb, az égésnél gyorsabb folyamat, amely szintén teljes kémiai átalakulást eredményez.

HM ZRÍNYI TÉRKÉPÉSZETI ÉS KOMMUNIKÁCIÓS SZOLGÁLTATÓ KÖZHASZNÚ NKFT.

Telephely: 1024 Budapest II., Szilágyi Erzsébet fasor 7–9. • Postacím: 1276 Budapest 22, Pf. 85 • www.hmzrinyi.hu • terkepzeset@hmzrinyi.hu



- Topográfiai térképek
- Faksimile térképek
- Atlaszok, város- és autótérképek
- Falitérképek
- Szabadidőtérképek
- Légiforgalmi térképek
- Munkatérképek
- Dombortérképek
- Digitális térképészeti adatbázisok
- Légifilm-tári szolgáltatások

KÖNYV- ÉS TÉRKÉPBOLT:

1024 Budapest II., Filler u. 14.

+36 30 388 4034 • E-mail: ugyfelszolgalat@hmzrinyi.hu

<https://shop.hmzrinyi.hu/>

Nyitvatartás: hétfő–péntek 9:00–16:30

• PrePress – Nyomdai előkészítés

- szöveg-, grafika- és képfeldolgozás, kiadványszerkesztés
- ellenőrző nyomatok, digitális proofok előállítása
- bel- és kültéri tablók, bannerek nyomtatása
- hagyományos és elektronikus montírozás, színrebotás
- nyomóformák előállítása nyomdai filmről, illetve CTP-technológiával

• Gyorsokszorosítás

- színes és fekete-fehér másolás/nyomtatás 330 x 487 mm méretig

• Press – Nyomtatás

- ofszetnyomtatás négy-, illetve hatszínnyomó gépeken, 89 x 126 cm méretig

• PostPress – Kötészetű feldolgozás

- felületmésítés fóliázással, laminálással 167 cm szélességig
- hajtogatás, spirálozás, sorszámozás
- összehordás, irkakészítés, ragasztókötés
- kasírozás, táblakészítés, aranyozás
- szortiment könyvkötészet
- vákuumformázás
- vákuumformázó szerszámok, terepszalok előállítása CNC technológiával