

Ember István¹ 

Modern kumulatív töltet méretezésének lehetőségei²

Sizing Possibilities of Sophisticated Shaped Charge

A cikkben vizsgálat alá veszem a lehetséges méretezési eljárásokat, amelyek segíthetik egy modern kumulatív töltet kialakítását. A hagyományos eljárások alapvetően fém béléstestekkel szerelt töltetekre vonatkoznak, de részben megfelelők lehetnek. A korábbi kutatások, amelyek során különböző polimereket és kompozitokat vizsgáltak, jó alapjai az elemzésnek. A kutatók eredményeiben azonban található néhány ellentmondás, amelyek tisztázása kulcsfontosságú lehet a további lehetőségek tükrében. Az elemzés során meghatároztam azokat az anyagokat, amelyek szintén további vizsgálat részét fogják képezni egy modern, a tűzserész szakfeladatokhoz alkalmas kumulatív töltet kialakításakor.

Kulcsszavak: kumulatív töltet, méretezés, robbantás, kompozit, polimer, béléstest

In this article, I investigate the possible sizing methods, which may help to design a sophisticated shaped charge. The traditional sizing methods fit for shaped charge made with metal liner, but partly they might be proper. Former researches, which were in the field of polymer and composite liner, may be a good starting point. Unfortunately, there are some contradictions in the results of researches and it is a vital question to disclose the truth of this matter. During my assay, I am going to define the pool of possible materials, which will be the part of further investigation in order to design a streamlined shaped charge fit to explosive ordnance disposal tasks.

Keywords: shaped charge, sizing, blasting, composite, polymer, liner

¹ Tanársegéd, Nemzeti Közszerológálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Műveleti Támogató Tanszék, e-mail: ember.istvan@uni-nke.hu

² A mű az innovációs és technológiai minisztérium ÚNKP-21-3-II-NKE-26 kódszámú új nemzeti kiválóság programjának a nemzeti kutatási, fejlesztési és innovációs alaplól finanszírozott szakmai támogatásával készült.

1. Bevezetés

A kumulatív töltetek igen hatékony eszközök egyes célfeladatok ellátására. A robbanás energiájának fókuszálásával kifejezetten hatékonyak a fémek átlukasztásában, nyújtott töltet esetén azok vágásában.

Folyamatban lévő kutatásom – amelyet az Új Nemzeti Kiválósági Program támogat – hosszú távú célja olyan kumulatív töltetet kialakítani, amely valóban használható a tűzserészek által végzett életveszélyes feladatok során. Fontos minden eszköz és eljárás, amely segítheti a szakembereket, de ezeken túl a hadtudományban vizsgálandó területekbe is illeszkedik ez a méretezési feladat.³ Ahhoz, hogy ezt a célt elérjem, dolgozatomban átfogóan fogom megközelíteni a területet és annak esetleges nehézségeit, ellentmondásait.

Írásomban megvizsgálom az ismert kumulatív töltet méretezési eljárásokat abból a szempontból, hogy lehetséges-e alkalmazásuk 3D nyomtatással elkészített modern töltetek paramétereinek meghatározásakor, ha a béléstest kompozit vagy polimer. Arra is kísérletet teszek, hogy felkutassak olyan esetlegesen vizsgált töltetváltozatokat, amelyek megfelelők lehetnek a méretezés megalapozásához. Alapvető feladatom az is, hogy meghatározzam azoknak a lehetséges béléstestanyagoknak a körét, amelyeket a későbbiekben empirikus módszerekkel fogok majd vizsgálni kutatásaim során.

2. Klasszikus méretezési módszerek

Mivel a kumulatív töltetek kutatása már nagy múltra tekint vissza,⁴ több méretezési eljárás is létezik, amelyek mindegyike alkalmas egy korrekt teljesítményű, alapvetően fém béléstesttel szerelt töltet kialakítására. Dolgozatomban egy hazai, egy keleti és egy nyugati módszert fogok vizsgálni annak érdekében, hogy átfogó kép alakuljon ki ezeknek a speciális tölteteknek a méretezése tekintetében. A dolgozatban nem részletezem a Magyar Honvédségben alkalmazott módszereket,⁵ azonban fontosnak tartom megemlíteni, hogy összpontosított és nyújtott kumulatív töltet méretezésére is van rendszeresített hadi eljárás.

2.1. Diószegi-féle méretezési eljárás⁶

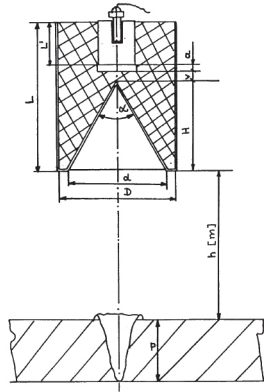
A méretezést a mellékelt táblázatok alapján kell elvégezni, olyan módszerrel, hogy úgynevezett „ököl szabályok” mentén határozzuk meg az egyes paramétereket.

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

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

⁵ Mú/213 Robbantási utasítás. Budapest, Honvédelmi Minisztérium, 1970. 29–30.

⁶ Diószegi Imre, a volt MH Haditechnikai Intézet tudományos főmunkatársa, az alábbi „ököl szabály” alkalmazását javasolta a kumulatív töltetek méretezésére.



1. ábra: Töltetparaméterek

Forrás: Lukács László: A kumulatív hatás és a kumulatív töltetek méretezése. Jegyzet a Szárazföldi Haderőnemi Fakultás műszaki hallgatói számára. Magyar Honvédség Zrínyi Miklós Katonai Akadémia Műszaki Tanszék, 1992. 38. 18. ábra.

Az optimális fókusztávolságot az alábbi képlettel határozzuk meg:⁷

$$h = d \frac{\alpha}{30^0}$$

$$30^0 \leq \alpha \leq 90^0$$

h – eltartás

d – a béléskúp átmérője

α – a béléskúp kúpszöge

A páncélatütés optimális eltartás esetén:⁸

$$P = F \cdot d \cdot \delta$$

P – páncélatütés

d – a béléskúp átmérője

δ – a robbanóanyagra jellemző állandó

F – kumulatív béléskúp anyagára jellemző állandó

A páncélatütés, ha az eltartás nem optimális:⁹

$$P = \frac{30^0 \cdot M}{\alpha} + (F - 1) \cdot d$$

P – páncélatütés

d – a béléskúp átmérője

α – a béléskúp kúpszöge

F – kumulatív béléskúp anyagára jellemző állandó

M – valós emelési magasság (kisebb, mint az optimális)

⁷ Lukács (1992): i. m. 39.

⁸ Lukács (1992): i. m. 39.

⁹ Lukács (1992): i. m. 40.

Az ideális betétvastagság és a fémekre jellemző állandó

1. táblázat: A töltet paramétereinek ábrája

Fsz.	Anyag	Vastagság	„F” állandó
1.	réz	d/50	3,8
2.	acél	d/40	3,4
3.	alumínium	d/30	2,2

Forrás: Lukács (1992): i. m. 39.

A robbanóanyag típusából fakadó paraméterek

2. táblázat: Robbanóanyagokra jellemző méretezési adatok

Fsz.	Robbanóanyag	δ	v (mm)	a (mm)	D – d (mm)	L _{min}
1.	A-IX-1 ¹⁰	1,5	4–8	3–5	6–10	10–15
2.	A-IX-2 ¹¹	1,45				
3.	préselt nitropenta ¹²	1,42				
4.	préselt alumínium poros nitropenta	1,37	5–10		4–8	
5.	nitropenta por	1,2	8–10		6–10	10–15
6.	pentritol ¹³ 50/50	1,28	10–15	5–8	10–15	15–20
7.	pentritol 60/40	1,32	8–10		8–10	
8.	préselt TNT ¹⁴	1,21	10–15	8–10	10–15	20–25
9.	öntött TNT	0,95	15–20	10–15	15–20	25–30
10.	TNT-por	0,55		10–20		20–25
11.	Semtex ¹⁵	1	10–15		10–15	15–20
12.	C4 ¹⁶	1,4		5–8	8–10	10–15

Forrás: Lukács (1992): i. m. 40. 6. számú táblázat

Kúp alakú béltestet kúpszögének meghatározása

3. táblázat: Kúpszög meghatározása

d (mm)	α	ideális α
20–50	35°–60°	40°
50–80	50°–65°	55°
80–120	55°–65°	60°
120–200	60°–85°	65°
200–300	80°–90°	85°

Forrás: Lukács (1992): i. m. 40. 7. számú táblázat

¹⁰ A-IX-1 – viasszal flegmatizált hexogén.

¹¹ A-IX-2 – viasszal flegmatizált hexogén, amely alumíniumport tartalmaz.

¹² Pentaeritrit-tetranitrát vagy pentrit.

¹³ Pentritol – nitropenta és TNT jelzett arányú keveréke.

¹⁴ Trinitrotoluol vagy trotil.

¹⁵ Nitropenta és hexogén bázisú plasztikus robbanóanyag.

¹⁶ Hexogén bázisú plasztikus robbanóanyag.

2.2. Hasonlóságon alapuló méretezés

Egy már meglévő és megfelelő teljesítményű kumulatív töltet esetén alkalmazható Szalamahin professzor módszere, amely a hasonlósági törvényen alapul.¹⁷ A számítások előtt szükséges a főbb paraméterek meghatározása a céltárgy és a méretezés alatt álló töltet vonatkozásában.¹⁸

A következő adatok meghatározása szükséges:¹⁹

- Forma: F;
- Befoglaló méret: R (m);
- A béléskúp vastagsága: d (m);
- A béléskúp anyagsűrűsége: r (kg/m³);
- A töltet külső köpenyének vastagsága: d₁ (m);
- A töltet külső köpenysűrűsége: r₁ (kg/m³);
- A robbanóanyag sűrűsége: r₀ (kg/m³);
- A robbanóanyag vastagsága: H₀ (m);
- A robbanási behatolás kezdeti energiája: Q₀ (J/kg = m²/c²);
- A robbanóanyag detonációs sebessége: D₀ (m/c).
- Céltárgy sűrűsége: r₂ (kg/m³);
- Céltárgy szilárdsága: s₂ (Pa = kg/(m·c²));
- Hengersebesség: a (m/c).

A meghatározandó adatok:

- A lyukasztási mélység: L (m);
- A lyukasztási átmérő: d (m).

A behatolási adatok összefüggései:

$$L = f_1(F, R, d, r, d_1, r_1, r_0, H_0, Q_0, D_0, r_2, s_2, a)$$

$$d = f_2(F, R, d, r, d_1, r_1, r_0, H_0, Q_0, D_0, r_2, s_2, a)$$

A megfelelő átalakítások után 10 darab mértékegység nélküli tényezőt kapunk:

$$\frac{L}{R} = \varphi_1 \left(\Phi, \frac{\sigma}{H_0}, \frac{\rho_1}{H_0}, \frac{H_0}{R}, \frac{\rho_2}{\rho_0}, \frac{\rho_1}{\rho_0}, \frac{\rho}{\rho_0}, \frac{D_0}{a}, \frac{D_0^2}{Q_0}, \frac{\sigma_2}{\rho_2 \cdot a^2} \right)$$

$$\frac{d}{R} = \varphi_2 \left(\Phi, \frac{\sigma}{H_0}, \frac{\rho_1}{H_0}, \frac{H_0}{R}, \frac{\rho_2}{\rho_0}, \frac{\rho_1}{\rho_0}, \frac{\rho}{\rho_0}, \frac{D_0}{a}, \frac{D_0^2}{Q_0}, \frac{\sigma_2}{\rho_2 \cdot a^2} \right)$$

Az összefüggésből jól látszik, hogy ha a forma és a robbanóanyag megegyezik a minta- és a méretezett töltet között, akkor ugyanolyan céltárgyra arányosan eltérő hatást fejtenek ki. Az arányosság a fókusz-távolság meghatározásakor is mérvadó.

¹⁷ T. M. Саламахин: *Основа моделирования и боевая эффективность зарядов разрушения, Военно-Инженерная Академия им. Москва*, В. В. Куйбышева, 1984. 113–118.

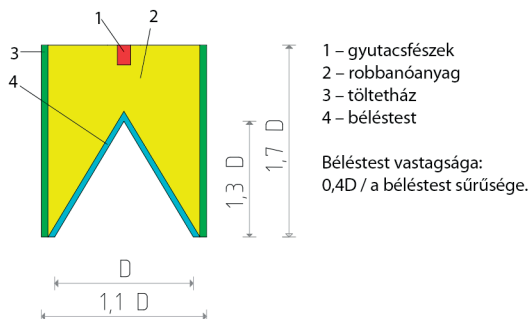
¹⁸ Lukács (1992): i. m. 31.

¹⁹ Lukács (1992): i. m. 31–32.

2.3. Cooper-féle módszer

Ez a módszer rendkívül egyszerű méretezést tesz lehetővé. Itt is hengeres kialakítású a töltet, és néhány szabály alkalmazásával könnyedén méretezhető a töltetüreg és a többi paraméter.

A méretezést a kumulatív béléstest belső átmérőjéhez – amelyet a 2. ábrán „D” jelöl – viszonyítva kell elvégezni. A töltet teljes átmérője $1,1D$, tehát a töltetház fala és a béléstest vastagsága oldalanként 5–5%-a a béléstest belső átmérőjének. A béléskúp belső magassága $1,3D$, míg a töltet teljes magassága ettől $0,4D$ -vel nagyobb. A béléskúp vastagságát annak sűrűsége határozza meg: $0,4D / \text{a béléstest sűrűsége}$.²⁰



2. ábra: Cooper-féle kumulatív töltet méretezése

Forrás: a szerző szerkesztése

Az eltartás meghatározására külön grafikon²¹ szolgál, amely alapján kijelenthető, hogy három béléstestnyi belső átmérőnek megfelelő eltartás esetén impozánsnak tűnő, 5 béléstestnyi belső átmérőjű átütést kaphatunk. Ez utóbbi adat hatig javítható az eltartás növelésével.

A béléstest vonatkozásában fontos információ, hogy kizárólag kúpformára vonatkozik, amely rézből van kialakítva. Cooper a kúpszöget 42° esetén tartja ideálisnak.

3. Modern lehetőségek

A fent bemutatott klasszikus módszerek elavulásáról nem beszélhetünk, azonban van néhány terület, amely a fejlesztés, méretezés tekintetében további lehetőségeket hordoz.

Mivel a „jet”²² kialakulásának modellje ismert, jelentősége a céltárgy átütésében vitathatatlan, de alapvetően fémből készült béléstestek az elterjedtek. Ez könnyen magyarázható, hiszen a fémek sűrűsége, főleg a réz esetében, megfelelő egy viszonylag vastag páncél átütésére. Ennek alapja az, hogy a célközeg és a béléstest sűrűsége meghatározó az átütés viszonyában, mivel a „jet” összenyomhatatlan folyadékként viselkedik, annak ellenére, hogy azt szilárdnak

²⁰ Paul W. Cooper: *Explosive Engineering*. New York, Wiley–VCH, 1996. 435–444.

²¹ Cooper (1996): i. m. 439, 30.8. ábra.

²² A béléskúp robbanás során átalakult formája.

ismerjük.²³ A jól ismert fémek mellett azonban megjelentek más anyagok is, mint a polimerek, amelyek átalakulása a robbanás során nem teljesen tisztázott.²⁴

Manapság a béléstestek anyagaként az alábbiak jöhetnek számításba:²⁵

- fémek;
- kompozitok;
- polimerek;
- üveg.

A fémek alkalmazása esetében nehéz a meglévő eredményeket fejleszteni, de új anyagokkal, mint a molibdén, kiváló eredmények érhetőek el. Más tekintetben az alkalmazott fémek tisztaságának vizsgálata szintén hozhat új eredményeket. Ezek mellett azonban előremutató lehet a kompozit anyagok alkalmazása. Ilyen eljárásokkal például ötvözhető egyes fémek előnyös tulajdonságai, ami jelentősen kedvezőbb átütést eredményez a céltárgyon. A vegyes kompozitok alkalmazása is lehetséges. Ilyen például, amikor alumíniumporral dúsított politetrafluoreténből²⁶ készül el a béléstest.²⁷

Az üveg főleg mint üvegpórk alkalmazható béléstestek anyagába keverve. Több kutatás vizsgálta a hatását, többek között a reaktív páncélzat átütésére vonatkozólag. Ezek a kísérletek kedvező eredménnyel kecsegtetnek, de a méretezési céljaim megvalósításához nem tűnnek megfelelőnek.²⁸

A polimerek alkalmazása egy viszonylag új terület a kumulatív töltetek világában. Eleinte úgynevezett dupla béléstesteket vizsgáltak, ahol a fémet gyakorlatilag egy műanyag réteggel toldották meg a kutatók. A műanyag a robbanóanyag felőli oldalon helyezkedett el ezekben a vizsgálatokban. Több fém esetében – alumínium, magnézium és titánium – jelentősen megnőtt az átütési teljesítmény, a különböző anyagok felerősítették egymást.²⁹

A kutatások egyik fő területe a reaktív páncélzat leküzdése³⁰ volt, ami determinálja, hogy ilyen kumulatív töltetekkel főleg dupla vagy tandem töltetek első fokozatában találkozhatunk majd a jövő páncélelhárító fegyvereiben. A fém béléstestek erre a célra nem megfelelők, hiszen a fémből formálódott „jet” képes inicializálni a robbanóanyagokat,³¹ és a reaktív páncélzat robbanóanyag-réteggel rendelkezik. Ennek a rétegnek a robbanása a „jet” formálódását rombolja, ezáltal csökkenti az átütési teljesítményt.

²³ Alistair Doig: Some Metallurgical Aspects of Shaped Charge Liners. *Journal of Battlefield Technology*, 1. (1998), 1. 1–3.

²⁴ Jianya Yi et al.: Simulation Study on Explosive Jet Formation Characteristics of Polymer Liner. *Materials*, 12. (2019), 5. 744. 1.

²⁵ Yi et al. (2019): i. m. 1.

²⁶ Rövidített elnevezése és a továbbiakban: PTFE.

²⁷ Yi et al. (2019): i. m. 2.

²⁸ Yi et al. (2019): i. m. 2.

²⁹ Yi et al. (2019): i. m. 2–3.

³⁰ Manfred Held: Shaped Charge Optimization against ERA Targets. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 30. (2005), 3. 216–223.

³¹ Artur Steckiewicz – Waldemar Trzcinski: Investigation of the Reaction of Energetic Materials on “Jet” Impact. In *17th International Seminar New Trends in Research of Energetic Materials*. Pardubice, University of Pardubice, 2014. 1038–1049.

4. Műanyagok és kompozitok alkalmazási lehetősége béléstestek anyagaként

A műanyagok és kompozitok alkalmazásában van néhány terület, ahol számításba jöhetnek mint alternatíva a béléskúpok anyagaként. Ilyen a tüzserész szakfeladatok során alkalmazott kumulatív töltet is, ahol nem feltétlenül a legnagyobb átütés számít, és a célközeg nem páncélból készült. Egyes esetekben kifejezetten előnyös, ha a „jet” kizárólag 1–2 cm átütést produkál. Ilyen esetek lehetnek például az ABV³² tüzserész szakfeladatok,³³ a terrorizmus elleni harc³⁴ során különböző improvizált robbanótestek³⁵ hatástalanításakor végzett tevékenységek – amelyek egyes kutatók szerint korunk meghatározó biztonsági kihívásai³⁶ –, valamint egyes hagyományos robbanótestek hatástalanítása során végzett robbantások.

Yi és kutatótársai több nem fémet is vizsgáltak számítógépes modellezéssel béléstestként: PTFE, poliamid³⁷ és polikarbonát.³⁸ A béléstest alapvetően lekerekített hegyű kúpot formázott az alábbi paraméterekkel:³⁹

- kúpszög: 60°;
- külső átmérő: 37 mm;
- vastagság: 3mm.

A szimuláció eredményeként a rézhez képest jelentősen eltérő eredmények alakultak:⁴⁰

- a „jet” formája jóval szélesebb és a vége jelentősen szétnyílnak 40 µs-nál;
- a PA esetében áll a forma legközelebb a fémekből formálódott „jet”-hez;
- a fémhez képest mindhárom anyagnak jelentősen nagyobb volt a sebessége;
- a kialakult „jet” átmérője a PA és PTFE esetében hozzávetőleg több mint tízszerese, PA esetében hozzávetőleg ötszöröse a réznek;
- a kialakult „jet” hossza 60 µs-nál hozzávetőleg két-háromszoros mind a három anyagnál a rézhez viszonyítva.

Számomra ezek az eredmények azt mutatják, hogy van jelentősége vizsgálni a különböző műanyagok és polimerek alkalmazását béléstestként a tüzserész szakfeladatok során használt kumulatív töltetekben. A PA kifejezetten előnyös lehet, bár kezelése hordozhat nehézségeket.

³² Jelentése: atom, biológiai és vegyi.

³³ Berek Tamás: ABV (CBRN) tüzserészcsoporthoz mint a biztonsági kihívásokra adott válaszlépés. *Bolyai Szemle*, 25. (2016), 4. 22–34.

³⁴ Horváth Tibor: A műveleti környezet műszaki támogatásának kihívásai. In Krajnc Zoltán – Csengeri János (szerk.): *Humánvédelem – békeműveleti és veszélyhelyzet-kezelési eljárások fejlesztése*. Budapest, Nemzeti Közszerkeleti Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztviselői Kar, 2016. 256.

³⁵ Kovács Zoltán: Az improvizált robbanóeszközök főbb típusai. *Műszaki Katonai Közlemények*, 22. (2012a), 2. 37–52; Kovács Zoltán: Fontos létesítmények IED elleni védelme. *Műszaki Katonai Közlemények*, 22. (2012b), ksz. 35–44.

³⁶ Tomolya János – Padányi József: A terrorizmus jelentette kihívások. *Hadtudomány*, 22. (2012), 3–4. 34; Daruka Norbert: Terroristák és taktikák, avagy védekezz, ha tudsz. *Repüléstudományi Közlemények*, 24. (2012), ksz. 35.

³⁷ Nylon, a továbbiakban rövidítve: PA.

³⁸ Angolul: polycarbonate, a továbbiakban rövidítve: PC.

³⁹ Yi et al. (2019): i. m. 4., 1. ábra.

⁴⁰ Yi et al. (2019): i. m. 10–11., 8–10. ábra.

A kutatások során lehetőségként vizsgálandónak tartom a polietilén-glikol-teraftalátot⁴¹ vízállósága miatt, valamint az akrilnitril-sztirol-akrilátot,⁴² amely ellenáll a környezet károsító hatásainak. A különböző fémekkel dúsított kompozitok felhasználása szintén eredményezhet hatásfokjavulást.⁴³ Ez utóbbi esetben a megnövelt sűrűség lehet a kulcsa a hatások növekedésének.

A 3D nyomtatók alkalmazása kézenfekvőnek tűnik ebben a vonatkozásban. A fenti anyagokat felhasználva ezzel a nyomtatási technikával jó minőségű minták készíthetők. Ezen a területen már vannak eredmények fémből készült béléstestek esetén.⁴⁴

A témához kapcsolódva nem fémek 3D nyomtatására is található eredmény a nemzetközi szakmai közegeben: Henry Obediah Agu doktori értekezésében vizsgálta a témakört. A 3D nyomtatóval elkészített töltetek béléstestjei 54 mm átmérőjűek, 60°-os kúpszöggel készültek, anyaguk politejsav⁴⁵ és rézzel dúsított PLA volt. A béléstestek több vastagságban készültek: 1,5 mm; 3,5 mm; 5,5 mm; 7,5 mm.⁴⁶

A robbantásokat 3 béléstest átmérőnyi eltartással végezte minden esetben. Az eredményeit összegezve látható, hogy a legvékonyabb, PLA anyagú, 1,5 mm-es béléstest produkálta a legnagyobb behatolást az acél céltárgyba. Ez 18,1 mm volt. A jövőbeli töltetméretezési és anyagválasztási problémák egyik legfontosabb tétele Agu részkövetkeztetéséből, részeredményeiből fakad. Tapasztalata szerint a rézzel dúsított PLA béléstest gyengébb teljesítményt hozott az átütés tekintetében, mint a dúsítatlan PLA. Az olvasztószálas nyomtatás⁴⁷ során felhasznált réz-PLA kompozit anyag porózusságát és heterogén szerkezetét jelölte meg a gyengébb teljesítmény forrásaként.⁴⁸

A fenti kutatók adatait összevetve kijelenthető:

- 55–60°-os kúpszög tekinthető ideálisnak modern anyagok alkalmazása esetén béléstestként;
- 1,5 mm és 3 mm körüli béléstest anyagvastagság lehet ideális;
- a 3 béléstest átmérőnyi eltartást érdemes lehet felülvizsgálni, csökkenteni, mert az tiszta fémek esetében lehet megfelelő érték;
- a rézzel dúsított kompozitok tekintetében ellentmondásosak az eredmények, ezt a területet mindenképpen további vizsgálat alá kell vonni;
- a 3D nyomtatással készült töltetek, kompozit vagy műanyag béléstesttel képesek lehetnek fémek lyukasztására.

⁴¹ Rövidítve és a továbbiakban: PET-G vagy PETG.

⁴² Rövidítve és a továbbiakban: ASA.

⁴³ B. H. Chang et al.: Numerical Simulation of Modified Low-Density Jet Penetrating Shell Charge. *International Journal of Simulation Modelling*, 14. (2015), 3. 426–437.

⁴⁴ Phillip Mulligan et al.: 3D Printed Conical Shaped Charge Performance. In *Proceedings of the 2019 Hypervelocity Impact Symposium*. Destin, Florida, United States of America, 2019. 113–122.

⁴⁵ A továbbiakba rövidítve: PLA.

⁴⁶ Henry Obediah Agu: The Effect of 3D Printed Material Properties on Shaped Charge Liner Performance. PhD-értekezés. United Kingdom, Cranfield University, 2019. 235–238.

⁴⁷ Angolul: Filament Deposition Modelling, rövidítve és a továbbiakban: FDM.

⁴⁸ Agu (2019): i. m. 121–137.

5. Összegzés

Az adatok igazolják tehát, hogy lehetséges 3D nyomtatóval hatékony kumulatív töltetet méretezni. Az is látszik, hogy a fém béléstesttel rendelkező töltetek méretezési eljárásai csak részlegesen alkalmasak kompozit vagy műanyag változatok kialakítására.

A különböző eredmények azt mutatják, hogy van potenciál az ilyen modern megoldásokban, de akad aggasztó ellentmondás is, amely feltétlen vizsgálatot követel. Látszik azonban néhány olyan irányvonal is, amelyet még nem vizsgáltak részletesen. Ilyen területnek gondolom az eltérő béléstestformák alkalmazását, illetve új anyagok vizsgálatát béléstestként, mint az ASA és a PET-G, amelyek jobban ellenállnak az időjárás viszontagságainak, mint a környezetben viszonylag gyorsan bomló PLA.

A továbbiak során érdemes lehet a méretezési paramétereket az alkalmazott robbanóanyagok tekintetében is felülvizsgálni. Ilyen értelemben a bináris robbanóanyagok⁴⁹ alkalmazása izgalmas terület lehet, mert kiküszöbölheti a helyszíni töltésben rejlő hibafaktorokat, mint a plasztikus robbanóanyag nem megfelelő réskitöltése a töltetben.

Felhasznált irodalom

- Agu, Henry Obediah: *The Effect of 3D Printed Material Properties on Shaped Charge Liner Performance*. PhD-értekezés. United Kingdom, Cranfield University, 2019. Online: <https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/handle/1826/15285>
- Boda József – Boldizsár Gábor – Kovács László – Orosz Zoltán – Padányi József – Resperger István – Szene Zoltán: A hadtudományi kutatási irányok, prioritások és témakörök. *Államtudományi Műhelytanulmányok*, (2016), 16. 1–23. Online: www.med.u-szeged.hu/download.php?docID=90702
- Berek Tamás: ABV (CBRN) tűzszerészecsoport mint a biztonsági kihívásokra adott válaszlépés. *Bolyai Szemle*, 25. (2016), 4. 22–34. Online: [https://nkerepo.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/14564/ABV%20\(CBRN\)%20t%20zser%E9szecsoport,%20mint%20a%20biztons%E1gi%20kih%EDv%E1sokra%20adott%20v%E1laszl%E9p%E9s.pdf?sequence=1](https://nkerepo.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/14564/ABV%20(CBRN)%20t%20zser%E9szecsoport,%20mint%20a%20biztons%E1gi%20kih%EDv%E1sokra%20adott%20v%E1laszl%E9p%E9s.pdf?sequence=1)
- Chang, B. H. – J. P. Yin – Z. Q. Cui – T. X. Liu: Numerical Simulation of Modified Low-Density Jet Penetrating Shell Charge. *International Journal of Simulation Modelling*, 14. (2015), 3. 426–437. Online: [https://doi.org/10.2507/IJSIMM14\(3\)5.295](https://doi.org/10.2507/IJSIMM14(3)5.295)
- Cooper, Paul W.: *Explosive Engineering*. New York, Wiley–VCH, 1996.
- Daruka Norbert: Terroristák és taktikák, avagy védekezz, ha tudsz. *Repüléstudományi Közlemények*, 24. (2012), ksz. 33–41. Online: https://epa.oszk.hu/02600/02694/00059/pdf/EPA02694_rtk_2012_2_0033-0041.pdf
- Doig, Alistair: Some Metallurgical Aspects of Shaped Charge Liners. *Journal of Battlefield Technology*, 1. (1998), 1. 1–3.
- Held, Manfred: Shaped Charge Optimization against ERA Targets. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 30. (2005), 3. 216–223. Online: <https://doi.org/10.1002/prop.200500009>
- Horváth Tibor: A műveleti környezet műszaki támogatásának kihívásai. In Krajnc Zoltán – Csengeri János (szerk.): *Humánvédelem – békeműveleti és veszélyhelyzet-kezelési eljárások fejlesztése*. Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, 2016. 256–300. Online: http://real.mtak.hu/33554/1/tanulmanygyujtemeny%20_ujratervezes_Csj_KZ_1.5.pdf

⁴⁹ Kugyela Lóránd: A többkomponensű robbanóanyagok múltja, jelene és jövője. *Katonai Logisztika*, 28. (2020), 4. 58–75.

- Kovács Zoltán: Az improvizált robbanóeszközök főbb típusai. *Műszaki Katonai Közlöny*, 22. (2012a), 2. 37–52. Online: https://mkk.uni-nke.hu/document/mkk-uni-nke-hu/2012_2_03%20IED-k%20f%C5%91bb%20t%C3%ADpusai%20-%20Kov%C3%A1cs%20Z.pdf
- Kovács Zoltán: Fontos létesítmények IED elleni védelme. *Műszaki Katonai Közlöny*, 22. (2012b), 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
- Kugyela Lóránd: A többkomponensű robbanóanyagok múltja, jelene és jövője. *Katonai Logisztika*, 28. (2020), 4. 58–75. Online: www.mkle.net/products/a2020-4-szam/
- Lukács László: *A kumulatív hatás és a kumulatív töltetek méretezése. Jegyzet a Szárazföldi Haderőnemi Fakultás műszaki hallgatói számára.* Magyar Honvédség Zrínyi Miklós Katonai Akadémia Műszaki Tanszék, 1992.
- Lukács László: A kumulatív töltetek és gyakorlati alkalmazásuk. *Műszaki Katonai Közlöny*, 20. (2010), 1–4. 175–196. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/mkk/article/view/2866/2122>
- Mulligan, Phillip – Catherine Johnson – Jason Ho – Cody Lough – Edward Kinzel: 3D Printed Conical Shaped Charge Performance. In *Proceedings of the 2019 Hypervelocity Impact Symposium*. Destin, Florida, United States of America, 2019. 113–122. Online: <https://doi.org/10.1115/HVIS2019-110MÚ/213> Robbantási utasítás. Budapest, Honvédelmi Minisztérium, 1971.
- Steckiewicz, Artur – Waldemar Trzcinski: Investigation of the Reaction of Energetic Materials on "Jet" Impact. In *17th International Seminar New Trends in Research of Energetic Materials*. Pardubice, University of Pardubice, 2014. 1038–1049.
- Саламахин, Т. М.: *Основа моделирования и боевая эффективность зарядов разрушения, Военно-Инженерная Академия им. Москва, В. В. Куйбышева*, 1984.
- Tomolya János – Padányi József: A terrorizmus jelentette kihívások. *Hadtudomány*, 22. (2012), 3–4. 34–67. Online: www.mhtt.eu/hadtudomany/2012/3_4/HT_2012_3-4_Tomolya_Padanyi.pdf
- Yi, Jianya – Zhijun Wang – Jianping Yin – Zhimin Zhang: Simulation Study on Expansive Jet Formation Characteristics of Polymer Liner. *Materials*, 12. (2019), 5. 744. Online: <https://doi.org/10.3390/ma12050744>