

Ember István¹ 

Tesztrobbantási eredmények politejsavból készült kumulatív béléstestekkel

Testblasting Results with Shaped Liners Made of Polylactic Acid

A kumulatív töltetek iránti érdeklődésem a főiskolás tanulmányaim alatt alakult ki, amelyben meghatározó szerep jutott Lukács László professzor úrnak. A tanulmányokat később kutatási kedv váltotta fel, és mindig számíthattam támogatásra és tanácsokra tőle a robbantástechnika területén. Neki ajánlom ezt az írásművet, amelyben a politejsavból készült különböző, kúp alakú béléstestek hatékonyságát vetem össze. A 3D-nyomtatással készült töltetalkatrészek eltérő kúpszögökkel készültek, hogy igazolható legyen a viszonylag kis fókusz távolság esetén az elvárt hatékonyság. Az alacsony sűrűségű béléstestek esetében a fémekhez hasonló, de azokkal nem teljesen megegyező eredményeket sikerült igazolni.

Kulcsszavak: additív, 3D-nyomtatás, kumulatív töltet, robbantás, PLA

My interest in cumulative charges developed during my college studies, where Professor László Lukács played a defining role. Later, my studies turned into a passion for research, and I could always count on his support and advice in the field of explosives engineering. I dedicate this piece of writing to him in which I compare the efficiency of cone-shaped liners made of polylactic acid. The filler components made by 3D printing were designed with different cone angles to demonstrate the expected efficiency with relatively short focus distances. For low-density liners, results were confirmed similar to metals but not entirely identical.

Keywords: additive, 3D printing, shaped charge, blasting, PLA

¹ Tanársegéd, Nemzeti Közszerződési Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Műveleti Támogató Tanszék, e-mail: Ember.Istvan@uni-nke.hu

Bevezetés

A robbantástechnika nagy általánosságban egy duális kutatási terület, hiszen a civil és katonai alkalmazás nagyon hasonló, ezért a kutatási eredmények mindkét vonalon felhasználhatók. Ennek a kutatási iránynak több részterülete is van, amelyek közül talán a kumulatív töltetek tekinthetők az egyik legrégebbinek. Éppen ezért felhasználásuk is széles körben mozog. Használhatjuk ezeket akár a jégpáncél kilyukasztására,² tűzérési gránátok és akár improvizált robbanótettek hatástalanítására is,³ vagy éppen páncélozott járművek megsemmisítésére.⁴

Speciális sajátosságának köszönhetően ennek a robbantástechnikai részterületnek helye van a katonai műszaki támogatási feladatokon belül kitűzött főbb kutatási irányok között is.⁵ Továbbá az alapvető igény a biztonságos robbantások végrehajtására megköveteli, hogy mindig a kor színvonalának megfelelő, modern technológiákat alkalmazzunk. Mindezt olyan módon, hogy gazdaságos és hatékony legyen a felhasznált harcanyag.⁶

Ezeknek a tölteteknek több méretezési eljárása ismeretes a hazai gyakorlatban,⁷ azonban a polimer béléstestek esetében kevésnek tekinthető a külföldi és hazai szakirodalom. Ez főleg a fémekhez képest elenyészőnek tekinthető lyukasztási képességből fakad. Azonban nem minden esetben harcjárművek több száz milliméteres páncélzatának kilyukasztása a cél. Egyes speciális feladatoknál, például a tűzszerészek tevékenységekor bőven elegendő ennek a töredéke,⁸ ami megnyitja az utat a polimerek alkalmazásához.

A tanulmányomban bemutatott eredmények eléréséhez 3D-nyomtatóval készítettem el a szükséges alkatrészeket, amelyekből a tölteteket a helyszínen szereltem készre, magas hatóerejű, plasztikus robbanóanyag alkalmazásával.

Feltételezésem szerint a kúp alakú kumulatív béléstestek esetében a belső átmérő kétszeresét véve fókusz távolságnak a kúpszög jelentős hatással lesz a kialakult üregre egy homogén acél céltárgyon. Elvárásaim szerint az eredmények közelíteni fognak a fém béléstesteknél tapasztaltakhoz, de el fognak maradni azoktól. Ezt részletezve a hegyesebb kúpszögek kevésbé lesznek hatékonyak, míg a 90°-os változat kevésbé lesz érzékeny a viszonylag kicsi eltartási távolságra. Ez utóbbi esetben már kissé közelíteni fognak a látható eredmények az EFP⁹ hatásához.

A 3D-nyomtatás megvalósítása

Az additív gyártásra képes eszközök már a mindennapjainkban is helyet kaptak. Nem lehet minden háztartásban megtalálni őket, de egyre többen tartanak az otthonukban egy-egy

² DARUKA 2014: 56–58.

³ KOVÁCS 2012: 35–36.

⁴ LUKÁCS 2010: 184.

⁵ BODA et al. 2016: 1–23.

⁶ PADÁNYI 1994: 63.

⁷ LUKÁCS 1992: 25–41.

⁸ EMBER 2022a: 15–20.

⁹ *Explosively formed penetrator* – robbantással formált lövedék.

darabot hobbi-, illetve barkácsolási célokra. Ebben a felhasználási környezetben adja magát a lehetőség, hogy a szükséges műanyag alkatrészeket ilyen eljárással készítsem el.

Korábban is alkalmaztam már ilyen célra 3D-nyomatatókat, de mások is foglalkoztak a témával: az úgynevezett SLM-módszer¹⁰ alkalmazásával már fém béléstesteket is készítettek és vizsgálták azok hatékonyságát.¹¹ Egy másik elterjedt módszer, az SLS-technológia¹² szintén kapott már szerepet. Ilyen eljárással például rézből és ónból készült ötvözet béléstesteket teszteltek a kutatók.¹³ Jelen esetben az FFF-eljárás¹⁴ a meghatározó. Ennek az iránynak is van külföldön fellelhető előzménye, ahol PLA-¹⁵ és PLA-réz kompozit bélésű kúpokat teszteltek a szakemberek, bár egy aránylag szűk szegmensben.¹⁶

A Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar (NKE HHK) több magas gyártási minőségre képes 3D-nyomatót üzemeltet. Ezekhez a tesztekhez a szükséges alkatrészeket egy Ultimaker S5 nyomtatóval készítettem el, amely szálhúzásos vagy szálolvasztásos technológiával működik. A technológiai folyamat a felcsévélés és a „hotend” alkatrészbe behúzott alapanyag megolvasztásával kezdődik, amelyet egy extrúderen keresztül juttat a rendszer a munkasztalra, rétegről rétegre.¹⁷ Az extrúder általában horizontálisan, míg a munkasztal vertikálisan képes elmozdulni, bár manapság ettől eltérő eljárások is vannak, ideértve a nyomott és nem húzott alapanyagmozgatást is.

Az építési módszernek vannak azonban jelentős hátrányai is más eljárásokhoz képest. Az építőteremben a munkasztallal párhuzamos, vagy egy bizonyos szög¹⁸ (ez alapanyagtól, nyomtatási paramétertől és eszköztől függ, de általában 60° körüli érték) meredekebben elhelyezkedő felületeket csak alátámasztással lehetséges elkészíteni. Ezt az egyszerűbb, egy extrúderes eszközök, amelyek nem képesek alapanyagot váltani, ugyanabból a polimerből készítik, mint magát a testet. Természetesen a támasz jelentősen kikönnnyített, hogy könnyen eltávolítható legyen, de az érintkezési felületek általában utókezelést igényelnek. A két független extrúderes 3D-nyomatók esetében ezt megkönnyíthetjük, ha más színű anyagból készül a támasz. Ilyen esetben jól látható, hogy mennyi utókezelés szükséges. Másrészt lehetséges a támaszt vízben oldható alapanyagból¹⁹ készíteni. Ez nem okoz a tárgyon egyetlen felületet, maradék nélkül eltávolítható, viszont a PLA-hoz viszonyítva jelentős a beszerzési ára. Ezt egyes nyomtatást előkészítő, szelitelő programokban kordában tudjuk tartani olyan beállítással, hogy csak a tárggyal érintkező felülethez épít vízdékony réteget a nyomtató, ezzel csökkentve a gyártási költségeket. A PVA alkalmazására olyan technológiák is vannak, ahol az extrúderek nem függetlenek egymástól. Ilyen az általam használt Ultimaker S5 készülék is.

¹⁰ *Selective laser melting* – szelektív lézeres olvasztás.

¹¹ MULLIGAN et al. 2019: 114–119.

¹² *Selective laser sintering* – szelektív lézeres szinterezés.

¹³ SUN et al. 2021: 7149.

¹⁴ *Fused filament fabrication* – szálhúzásos vagy szálolvasztásos gyártás.

¹⁵ *Poly lactic acid* – politejsav.

¹⁶ AGU 2019: 122–140.

¹⁷ GÁL–NÉMETH 2019: 233.

¹⁸ Ez alapanyagtól, nyomtatási paramétertől és eszköztől függő érték, de általában 60° körüli.

¹⁹ PVA, azaz polivinil alkohol.

A legfontosabb beállítási paramétereket a következőkben részletezem, azonban ki kell emelnem, hogy az alapanyagok minden esetben egy gyártó azonos termékcsaládjába tartoztak. A béléstesteket pedig egy alapanyagtekercsből készítettem el. Fontosnak tartottam, hogy még a színpigmentek se okozzanak esetleges változást az anyagjellemzőkben, gyártási paraméterekben, ezért döntöttem a teljesen egységes alapanyag mellett. Ez a választott alapanyag esetemben is PLA volt, amely az egyik legszélesebb körben alkalmazott, viszonylag olcsó és könnyen beszerezhető 3D-nyomtatási polimer.

Ez az anyag könnyen szintetizálható keményítőtől (burgonyából, borsóból, kukoricából stb.) és cukorból. Előnyös tulajdonsága, hogy komposztálható, és a bomlása ilyen körülmények között nem eredményez mérgező anyagokat. Mivel termoplasztikus, így lehetséges a felhasználása hagyományos műanyaggyártási technológiákkal. Alapvetően jó mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik, de mérnöki vonalon főleg szálerősítéssel javasolt az alkalmazása.²⁰

Az additív eljárással készített alkatrészek

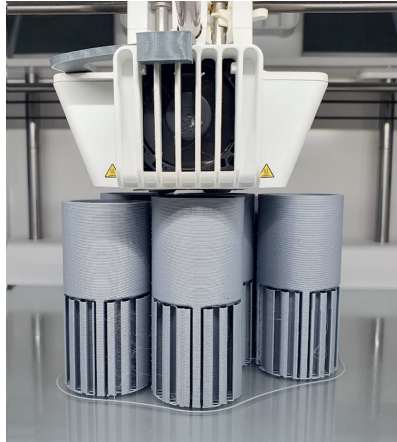
A töltetek alkatrészei közül mindegyiket a fent bemutatott PLA-alapanyagból készítettem el, FFF-eljárással. A teszteléshez az alábbi alkatrészek készültek el:

- töltetházak;
- zárókupakok;
- formázókupakok;
- béléstestek.

A különböző méretű béléstestek esetében fontosnak tartottam, hogy egységes eredmények szülessenek, ezért a töltetbe helyezett gyutacs mélységét egységesen 1 cm-ben határoztam meg. A gyutacs végétől a béléstest tetejéig szintén 1 cm-es távolságot tűztem ki. Ez utóbbi esetben változtatnom kellett néhány alkatrész méretén, mivel az alap töltetházak 60°-os kúpszöggel készült béléstestek méretéhez lettek optimalizálva. A 45°-os változat esetében magasabb töltetházakat készítettem, a 90°-os esetében pedig a formázókupakot alakítottam át olyan módon, hogy beleérjen az alacsonyabban elhelyezkedő robbanóanyagba. Ezek a geometriai módosítások biztosították, hogy a megfelelő és egységes méreteket kapjam meg a vizsgálatokhoz.

A töltetházak (1. ábra) mindegyike esetében a fókusztávolságot a béléstestek 20 mm-es átmérőjének a duplájában határoztam meg. Ez a távolság könnyen telepíthetővé és pontosan célozhatóvá teszi a töltetet, viszont vannak várható negatívumai. A hegyesebb szögű változatok esetében a hatékonyság várhatóan elmarad majd a 90°-os változattól. Ez abból fakad, hogy ez a méret már közelebb van az EFP-k működéséhez, amelyek penetrációs képessége kevésbé érzékeny a fókusztávolságra. Ezeket az alkatrészeket 0,4 mm-es fúvókával, a PLA-alapanyagra felajánlott alap hőmérsékleti paraméterek mellett, 45%-os trianguláris kitöltéssel készítettem el.

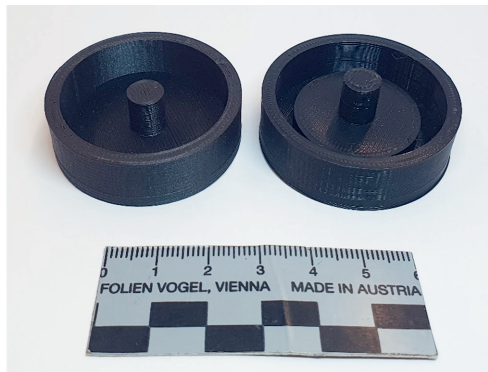
²⁰ TÁBI–KOVÁCS–KOVÁCS 2014: 1.



1. ábra: Töltetházak gyártás közben

Forrás: a szerző felvétele

Minden esetben rendelkezett a töltetház a kumulatív sugár kialakulását segítő visszaáramlás-gáttal, amely technikailag egy üreges csanakakúp, 10 mm-es átmérőjű kimeneti nyílással a végén. Ennek a nyílásnak a méretét és hatását később még további vizsgálatra érdemesnek tartom, de jelenleg egységesen így határoztam meg.



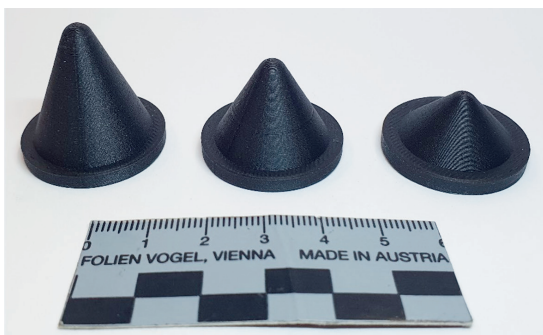
2. ábra: Formázókupakok

Forrás: a szerző felvétele

A zárókupakok két alkatrészből készültek, amelynek oka az anyagtakarékosság. Az FFF-technológiával rengeteg támaszanyagra lett volna szükség, és időben is jelentősen megnőtt volna a gyártás. A gyutacs megtámasztására készült kisebb, átmenő furattal rendelkező hengert pillanatragasztóval rögzítettem a kupakokhoz. Ezeket az alkatrészeket 0,4 mm-es fúvókával, a PLA-alapanyagra felajánlott alap hőmérsékleti paraméterek mellett, 35%-os trianguláris kitöltéssel készítettem el.

A formázó kupakok (2. ábra) esetében a fent jelzett geometriai okok miatt több változat készült. A gyártási paraméterek megegyeztek a töltetházakéval.

A béléstestek, mint a vizsgálat szempontjából legfontosabb alkatrészek, három változatban készültek el. A 45°-os, 60°-os és 90°-os változatokkal (3. ábra) szerettem volna képet kapni a kis fókusz távolság esetében a polimer alapanyagú béléstestek működéséről, hatékonyságáról. Mivel esetükben a sűrűség kifejezetten fontos, ezért a vizsgált geometriát a többi alkatrésztől jelentősen eltérő gyártási paraméterekkel készítettem el: 0,4 mm-es fúvóka, a PLA-alapanyagra felajánlott alap hőmérsékleti paraméterek, 100%-os lineáris kitérés.



3. ábra: Bélés-kupak

Forrás: a szerző felvétele

A tesztrobbantások tapasztalatai

A tesztrobbantásokat a Magyar Honvédség 1. Tűzszerész és Folyamőr Ezred (MH 1. TFE) segítségével Táborfalván, a kijelölt robbantási területen hajtottam végre. Az időjárás enyhén felhős volt, légköri, időjárási jelenségek nem befolyásolták a végrehajtást és a villamos gyújtóhálózat kiépítését.

Robbanóanyagunk a Kugyela Lóránd által fejlesztett többkomponensű,²¹ tixotróp,²² helyszínen keverhető és tölthető robbanóanyag kiváló térkitöltő hatása miatt kiválóan megfelelne az adott feladathoz, de egyelőre kereskedelmi forgalomban nem kapható. Éppen ezért a töltetek mindegyikét Semtex-H robbanóanyaggal töltöttük fel, amely szintén kifejezetten alkalmas helyszíni alkalmazásra.²³ Mindegyik iniciálása azonos típusú villamos gyutaccsal történt. A feladat során több tűzben kellett a gyújtást elvégezni, minden esetben azonos struktúrájú hálózatot alkalmaztunk, és a töltetek számára is azonos üregeket alakítottunk ki a talajban. A robbantások során az előírt biztonsági rendszabályokat²⁴ a legszigorúbban betartottuk. Az elvárásoknak megfelelően semmilyen repeszképződést nem tapasztaltunk, a céltárgyak sem repültek ki az üregekből.

²¹ KUGYELA 2021: 60–65.

²² A viszkozitása keveréssel csökkenthető, de pihentetés után visszanyeri eredeti tulajdonságát.

²³ LUKÁCS 2017: 35.

²⁴ DARUKA–SZALKAI 2023: 107–110.

Az acél céltárgyak 60 mm átmérőjű és hozzávetőleg 30 mm vastagok voltak, amelyeket egyetlen acélrúdból alakítottunk ki fűrészeléssel, hogy ne alakuljon ki kémiai változás az anyagban. A töltetek rögzítése érdekében a felületeket esztergálással egyenlítettük ki. A pontos vastagságnak a teszt szempontjából nincs különösebb jelentősége, kizárólag a teljes átütés elkerülése volt a cél.

A töltetek elkészítésekor fokozott figyelmet fordítottunk az egységes kialakításra, ezért a robbanóanyagot a korábbi robbantások tapasztalatai²⁵ és a helyszíni mérések alapján egységes, tizedgramm pontosságú adagokban mértük ki. Ezzel az eljárással csökkentettük a helyszíni töltésből fakadó esetleges eltéréseket, hiszen így mindegyik típus azonos mennyiségű robbanóanyagot és pontosan egyező geometriát kapott.

Az elkészítés során minden esetben az alábbi lépéseket hajtottuk végre:

1. a béléstartest behelyezése a töltetházba;
2. a robbanóanyag kimérése;
3. a robbanóanyag betöltése;
4. a gyutacs helyének kialakítása a formázó kupakkal;
5. zárókupak felhelyezése;
6. töltet rögzítése a céltárgyakra pillanatragasztóval.

A robbantások után a céltárgyakon mért adatokat az 1. táblázat tartalmazza. A méréseknél minden esetben a legnagyobb értékeket vettem figyelembe.

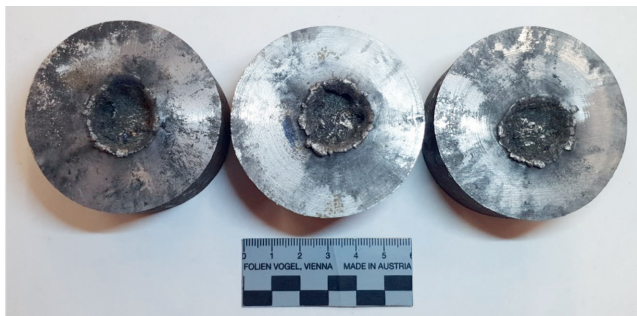
1. táblázat: A mérési eredmények

Fsz.	Típus	Semtex-H (g)	Perem magassága (mm)	Perem külső átmérője (mm)	Üreg belső átmérője (mm)	Penetráció (mm)
1.	45°	29	3,2	26,5	18,8	7,3
2.			3,8	25,6	17	6,4
3.			3,7	25	16,8	5,4
4.	60°	33	4,7	26,4	19,3	8
5.			4,7	23,7	16,1	10,3
6.			5	22,3	18	9,4
7.	90°	28	4,6	22,7	14,6	12,1
8.			4,6	21,4	14	12,8
9.			4,4	21,3	14,4	12,2

Forrás: a szerző szerkesztése

A 45°-os béléstartesttel szerelt töltetek (4. ábra) esetében azonosítható, hogy a kumulatív sugár nem formálódott teljesen, ezért a penetráció is ebben az esetben volt a legkisebb. A behatolási lyukak szélén kialakult perem felszakadozott, az átmérő nem egyenletes a perem külső vonalán és az üregben sem. A behatolás a homogén acélba a várt legkisebb érték, és az üregek alsó felületén látható, hogy több mély pontja van. Ez jelzi, hogy a kumulatív sugár nem koncentrált teljesen a céltárgyba hatoláskor.

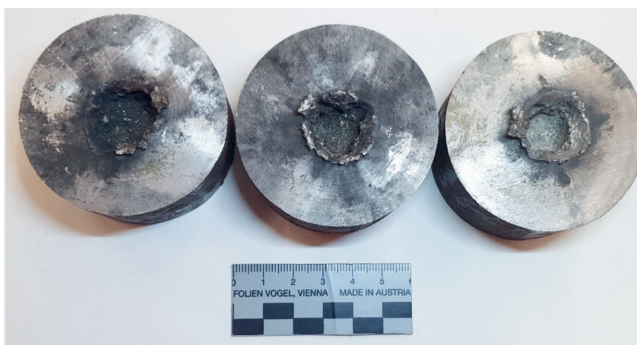
²⁵ EMBER 2022b: 13–23; EMBER 2022c: 63–72.



4. ábra: A 45°-os béléstestek hatása a céltárgyakon

Forrás: a szerző felvétele

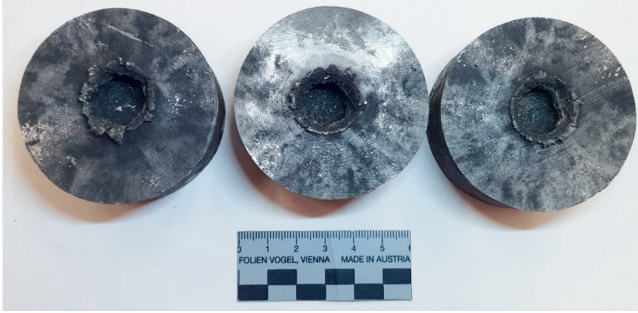
A 60°-os kúpok esetében az eredmények szintén hasonló képet mutatnak a céltárgyakon (5. ábra). A kialakult peremek jelentősen felszakadoztak, magasságuk is nagyobb, mint az előző sorozaté. Az üregek külső és belső átmérői mindhárom céltárgyon változatos átmérőt mutatnak, az üregek nem teljesen egységesek. Az üreg alján itt is több mély pontot lehet azonosítani, vélhetően ebben az esetben is tovább növelhető az eltartás az ideális behatolás kialakulása érdekében. A kialakult üregek mindegyike mélyebb, mint a 45°-os sorozaté.



5. ábra: A 60°-os béléstestek hatása a céltárgyakon

Forrás: a szerző felvétele

A 90°-os bélés-kúpok hatékonysága volt a leginkább kiemelkedő (6. ábra). A céltárgyakon mért peremek magasságai középértéket mutatnak az előző kettő sorozathoz viszonyítva, és ebben az esetben is felszakadoztak. A behatolás alapvetően homogén átmérő mentén történt meg a perem külső vonalán és az üreg belsejében egyaránt. A behatolás három töltetre vonatkoztatott középértéke 12,4 mm a homogén acélban, ami a legeredményesebb 45°-os béléstest teljesítményének a 170%-a, a 60°-os béléstest esetében annak 120%-a. Az eredmények igazolják a feltételezést, hogy az ideális kúpszögek az ilyen kis eltartásoknál a polimerek esetében is az EFP-szerű hatás irányában a legjobbak.



6. ábra: A 90°-os béléstestek hatása a céltárgyakon
Forrás: a szerző felvétele

Összegzés

A töltetek tesztrobbantása során sikerült igazolni a feltételezést, amely szerint a PLA-béléstestek esetében is a széles kúpszög javíthatja a penetrációs képességet, amennyiben a fókusz távolság a kúp belső átmérőjének a duplája. Ki szeretném emelni, hogy a vizsgálat nem terjedt ki a PLA-n kívül más polimerekre, és ez hozhat még a jelenlegi eredményeket, ha nem is teljes egészében, de legalább részlegesen cáfoló eredményeket.

Fontosnak tartom a jövőben megvizsgálni a poliamidok, kompozit poliamidok és egyéb hétköznapi polimerek²⁶ viselkedését a fenti kísérletben meghatározott paraméterek esetében béléstestként.

Másik vizsgálati irány lehet a fent jelzett visszaáramlást az alsó nyílásának változtatása. Ennek akár jelentős hatása is lehet a töltet hatékonyságára, ezzel pedig egy végleges, gyakorlatban is használható töltetház geometriájának kialakításában.

Felhasznált irodalom

- AGU, Henry Obediah (2019): *The Effect of 3D Printed Material Properties on Shaped Charge Liner Performance*. PhD-disszertáció. Cranfield University. Online: <https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/handle/1826/15285>
- BODA József et al. (2016): A hadtudományi kutatási irányok, prioritások és témakörök. *Államtudományi Műhelytanulmányok*, (16), 1–23. Online: <http://www.med.u-szeged.hu/download.php?docID=90702>
- DARUKA Norbert (2014): Jégvédekezés robbantással. *Műszaki Katonai Közlöny*, 24(4), 51–67. Online: https://mkk.uni-nke.hu/document/mkk-uni-nke-hu/2014_4_4_Jegvedekezés%20robbantással.pdf
- DARUKA Norbert – SZALKAI László (2023): Risks Related to the Handling of Explosives with Regard to Occupational. In BEŇOVSKÝ, Marián (szerk.): *32th International Conference Blasting Technique 2023*. Stará Lesná: [k. n.], 102–111.

²⁶ Úgymint: akrilnitril-butadién-sztirol (ABS), akrilnitril-sztirol-akrilát (ASA), polietilén-tereftalát-glikol (PETG) stb.

- EMBER István (2022a): Modern kumulatív töltetek hatékonyságának vizsgálata. *Haditechnika*, 56(6), 15–20. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.56.6.03>
- EMBER István (2022b): Hatásvizsgálati robbantás kumulatív töltetekkel. *Műszaki Katonai Közlöny*, 32(3), 13–23. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2022.3.2>
- EMBER István (2022c): 3D nyomtatott lyukasztó töltetek hatásvizsgálata. *Hadmérnök*, 17(4), 63–73. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2022.4.5>
- KOVÁCS Zoltán (2012): Fontos létesítmények IED elleni védelme. *Műszaki Katonai Közlöny*, 22(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 (2020): A többkomponensű robbanóanyagok múltja, jelene és jövője. *Katonai Logisztika*, 28(4), 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*. [H. n.]: Magyar Honvédség Zrínyi Miklós Katonai Akadémia Műszaki Tanszék.
- LUKÁCS László (2010): A kumulatív töltetek és gyakorlati alkalmazásuk. *Műszaki Katonai Közlöny*, 20(1–4), 175–196. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/mkk/article/view/2866/2122>
- LUKÁCS László (2017): *Szemelvények a magyar robbantástechnika fejlődéstörténetéből. Különös tekintettel a továbbfejlesztés várható irányaira és a kor új kihívásaira*. Budapest: Dialog Campus.
- MULLIGAN, Phillip et al. (2019): 3D Printed Conical Shaped Charge Performance. In *Proceedings of the 2019 Hypervelocity Impact Symposium*. Destin: [k. n.]. Online: <https://doi.org/10.1115/HVIS2019-110>
- PADÁNYI József (1994): *A Magyar Honvédség műszaki csapatainak lehetőségei és feladatai békeidőben a természeti- és civilizációs katasztrófák megelőzésében és a következmények felszámolásában*. Kandidátusi értekezés. Budapest.
- SUN, Shengjie et al. (2021): Comparison of Shaped Charge Jet Performance Generated by Machined and Additively Manufactured CuSn10 Liners. *Materials*, 14(23), 7149. Online: <https://doi.org/10.3390/ma14237149>
- TÁBI T. – KOVÁCS N. K. – KOVÁCS J. G. (2014): Basalt Fibre Reinforced Poly (Lactic Acid) Based Composites for Engineering Applications. In *ECCM16 – 16th European Conference on Composite Materials*. Seville: [k. n.]. Online: https://real.mtak.hu/13523/1/Basalt_fibre_reinforced_poly%20lactic_acid%29_based_composites_for_engineering_applications.pdf