

Ember István¹ 

3D nyomtatott kumulatív idomtöltetek tesztrobbantása

Test Blasting of 3D Printed Profile Shaped Charges

Manapság nem lehet elkerülni a modern, jelentős ütemben fejlődő technológiák katonai alkalmazásának elemző vizsgálatát. Az additív gyártás is ilyen, kifejezetten gyorsan bővülő terület, amely már széles körben elérhető. Ez a megoldás az alkatrészek elkészítésének gyors, pontos és magas minőségű alternatívája, bár sok esetben még nem nevezhető olcsónak. A drága fém vagy kompozitanyagok nyomtatásával ellentétben azonban a polimerek nyomtatása már sok háztartásban is megjelent. Ilyen módszerrel készült kumulatív idomtöltetek hatékonyságát vizsgálom meg, acél céltárgyak felrobbantásával. Az eredmény előre jelzi, hogy vannak még fejlesztési irányok, de egyértelműen látható, hogy létezik hatékony kombináció.

Kulcsszavak: hatásvizsgálat, 3D nyomtatás, vágótöltet, robbantás, additív

Nowadays, it is impossible to avoid the analytical examination of the military application of modern, rapidly developing technologies. Additive manufacturing is one of these quickly expanding fields, which is now widely available. It is a fast, accurate and high quality alternative for the production of parts, although in many cases it is not yet cheap. However, in addition to printing on expensive metal or composite materials, printing on polymers is now also being used in many households. I will investigate the effectiveness of cumulative moulded fillings made by this method by exploding steel targets. The results predict that there are still directions for improvement, but it is clear that there are effective combinations.

Keywords: efficiency trial, 3D printing, cutting charge, blasting, additive

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

Bevezetés

Napjaink két legnagyobb hozamot ígérő kutatási területe – sok más érdekes irány mellett – a mesterséges intelligencia (MI) és a 3D nyomtatás. Mindkettő esetében folynak vizsgálatok a katonai alkalmazás fejlesztésével kapcsolatban. Az MI sok tekintetben hasznosnak bizonyulhat a hadviselésben,² de az olcsó, gyors és hatékony additív gyártás³ is helyzeti előnyöket tartogat a katonák⁴ és a katonai felsőoktatás számára.⁵

A fentiek alapján egyértelmű, hogy a 3D nyomtatás mint lehetséges és szükséges katonai eljárás szorosan kapcsolódik a hadtudományok tekintetében kijelölt fő kutatási irányokhoz.⁶ A robbantástechnika több érintett területnek a része, és írásomban az additív gyártás és a kumulatív idomtöltetek fúzióját fogom hatékonysági vizsgálat alá venni.

Az említett idomtöltetek valamilyen brizáns⁷ és/vagy bináris⁸ robbanóanyaggal vannak megtöltve, és a robbanás energiáját képesek összpontosítani, kumulálni,⁹ mindezt egy kívánt cél megsemmisítése érdekében. A helyszínen tölthető verzióknál pedig a plasztikus vagy folyékony fő töltet lehet alternatíva.

A kutatásom érdekessége, hogy kizárólag alacsony sűrűségű anyagokat használok fel a töltetekhez, ideértve a béléstestet is. A fémek lyukasztásra és vágásra való alkalmazása kumulatív töltetekben már nagy múltra tekint vissza, annak legtöbb fizikai és fémipari¹⁰ körülményét már ismerjük. A polimerek sem ismeretlen anyagok ezen a területen, azonban jóval kevesebb kutatás foglalkozott velük. A legfrissebb eredmények kínai kutatók munkásságához kötődnek, akik ezeknek az anyagoknak a megnyúlását tanulmányozták a jet mint az átütési képesség egyik meghatározó elemének formálódása közben.¹¹ Egy másik előremutató vizsgálatot pedig szimulációs környezetben végeztek el a szakemberek.¹²

Kutatásom során kizárólag 3D nyomtatással készült tölteteket robbantottam fel, mégpedig négy változatban, amelyek kétféle céltárgyhoz lettek egyedileg kialakítva, megtervezve. Mindkét céltárgy szabványos U szelvény, de méretük jelentősen eltér: 50, illetve 100 mm. A feltételezésem szerint az idomtöltetek legalább a kisebb szelvények vágásában hatékonyak lesznek. A problémát a céltárgyak sarkai fogják okozni, ahol jelentős az anyagvastagság az egyenes felületeihez képest. Ezekben a részeken várható, hogy részlegesen megmarad az anyagfolytonosság. A vizsgálat sikerét nem kizárólag a teljes vágás igazolja, hiszen szerkezeti elemek robbantásakor az alapfunkció megszüntetése, a teherviselés és különböző erőhatások felvételének lehetetlenné tétele legendő eredmény.

² NÉMETH–VIRÁGH 2022: 21; FAZEKAS 2022: 51–52; TÓTH–VÉG 2022: 114.

³ GÁL–NÉMETH 2019: 233.

⁴ VÉGVÁRI–HEGEDŰS–ZENTAY 2022: 58–62.

⁵ GYARMATI–HEGEDŰS–GÁVAY 2022: 125–126.

⁶ BODA et al. 2016: 1–23.

⁷ LUKÁCS 2017: 26.

⁸ KUGYELA 2020: 58–75.

⁹ LUKÁCS 2010: 175–185.

¹⁰ DOIG 1998: 1–3.

¹¹ YI et al. 2019: 744.

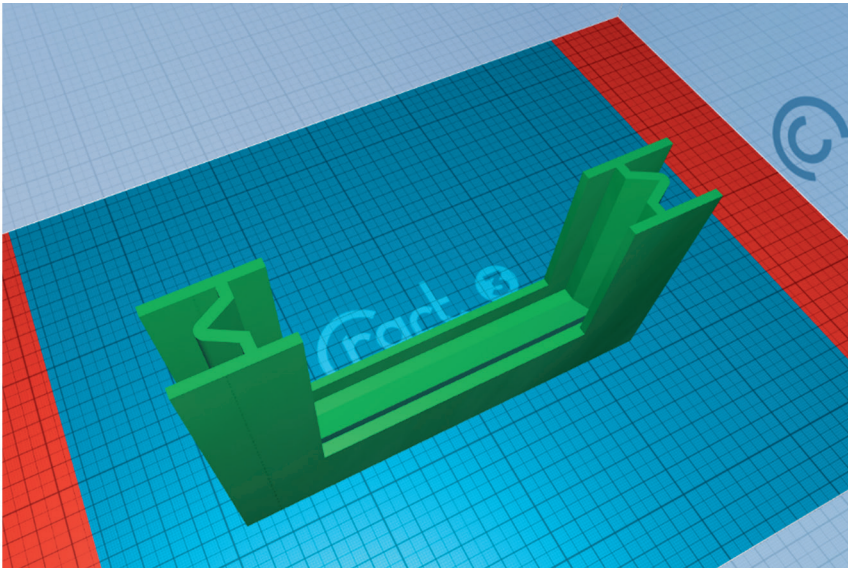
¹² CHANG et al. 2015: 426–437.

A vizsgált töltetek

A polimerek nagy családjából a 3D nyomtatás legelterjedtebb alapanyagát, a politejsavat (PLA¹³) választottam ki mint megfelelő anyagot a töltetek elkészítéséhez. Ez azért is szerencsés választás, mert a nyomtatásával kapcsolatban nagy tapasztalati anyag áll rendelkezésre a világhálón, valamint viszonylag olcsó és könnyen beszerezhető. Mivel már személyes élményeim is vannak az alkalmazását illetően,¹⁴ szinte adta magát, hogy ezen a vonalon haladjak tovább.

Minden egyes töltetet egyedileg a céltárgyra méretezve alakítottam ki. Falvastagságuk a teljes test esetében egyaránt 3 mm, amely adatot a korábbi tesztek eredményeire alapozva határoztam meg.¹⁵ A lent hivatkozott kutatás, amely egy disszertációban jelent meg az Egyesült Királyságban, azt mutatja, hogy ennél vékonyabb kumulatív béléstest akár hatékonyabb is lehet,¹⁶ azonban az általam elvégzett gyakorlati vizsgálatok ezt eddig nem igazolták.

Annak érdekében, hogy a robbanóanyagban kialakulhasson az anyagára jellemző detonációs sebesség, ennek eredményeként pedig fellépjen a hatékony vágó hatás, terveztem egy fedlapot, amely a gyutacs központi elhelyezését segíti. Ezt a gondolatot természetesen ki kell egészíteni a pontosan mért behelyezési mélységgel, mert a két tényező együttesen hat a fenti folyamatra.



1. ábra: 60°-os kumulatív idomtöltet terve, 100 mm-es U szelvényhez kialakítva

Forrás: a szerző felvétele

¹³ Angolul: *polylactic acid*.

¹⁴ ÁDÁM–EMBER 2022: 101–111; EMBER–ÁDÁM 2022: 35–44.

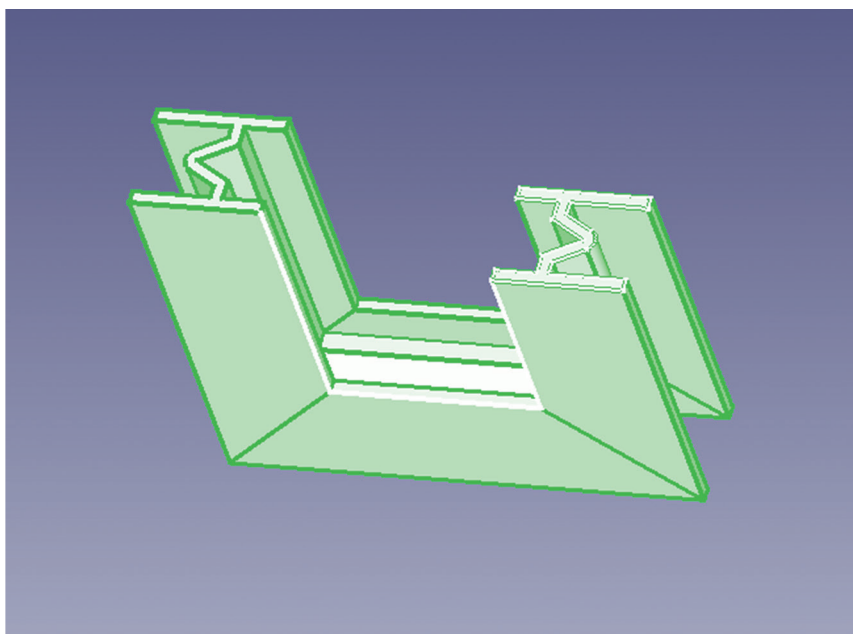
¹⁵ EMBER 2022a: 13–23; 2022b: 15–20; 2022c: 63–73.

¹⁶ AGU 2019.

A béléstest nem külön alkatrész, minden esetben egy test a töltetházzal, amely két hajlásszögben készült el. A 60°-os és 90°-os verzióval az eredmények szembeállításra volt a kitűzött cél, másrészt a további fejlesztési irányokra is befolyással lehetnek a kinyert adatok. A vágóélek minden változatnál 10 mm-re voltak nyitva.

Az 1. ábrán egy 60°-os változatot mutatok be, amely 100 mm-es U szelvényhez készült, és éppen a 3D nyomtatás előkészítése közben látható.

A 3D modelleket számítógéppel támogatott tervezéssel (CAD¹⁷) készítettem, amely eljárás a tárgyak egyedi kialakítása miatt elengedhetetlen volt. A felépített modelleket (2. ábra) FreeCAD 0.19 szoftverrel hoztam létre. Az alkalmazott „dual extruder”¹⁸ CraftBot 3 nyomtatót 0,8 mm-es fűvókával szereltem fel, hogy a produktivitást a lehető legmagasabbra emeljem. A gyártáshoz ugyanazon gyártó nem azonos színű, de azonos paraméterekkel rendelkező termékeit, filamentjeit¹⁹ használtam fel alapanyagként.



2. ábra: Egy 60°-os kumulatív idomtöltet modellje a tervezőszoftver felületén
Forrás: a szerző felvétele

Jelentős figyelmet fordítottam a gyártás optimalizálására, ami már a tervezésnél is kihívásokat jelentett. Számításba kellett venni a szálhúzásos vagy szálolvastásos (FDM²⁰) rendszerű gyártás előnyeit és hátrányait, mindezt az alkalmazott nyomtató képességeinek a mátrixában. Ez főként a támaszok miatt volt fajsúlyos kérdés, mert azok jelentős anyagfelhasználás mellett

¹⁷ Angolul: *computer-aided design*.

¹⁸ Két nyomtatófej egyidejű vagy váltott alkalmazására képes.

¹⁹ Tekercselt alapanyagszál, amelyet a nyomtató megoldasztt.

²⁰ Angolul: *fused deposition modeling*.

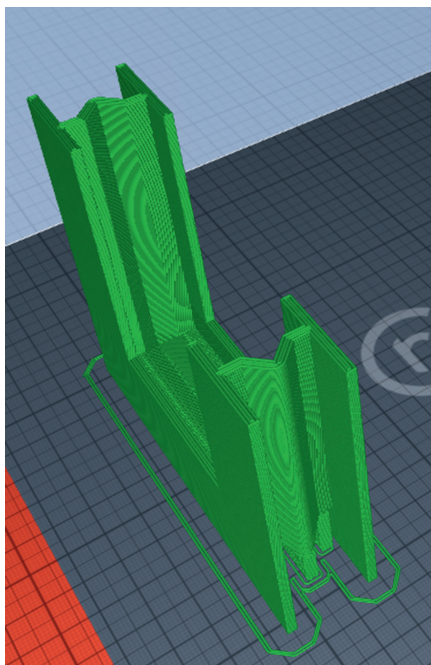
készülhetnek el, és eltávolításuk egyenetlen felületet eredményezhet, vagy akár a termék sérülését is okozhatja. Ezek a támaszok egy bizonyos építési szög felett szükségesek, és a tárgy „szeletelésekor”²¹ alkalmazott szoftver felületén kell elrendezni őket. Amennyiben az építési felülettel párhuzamosan kell „lebegő” részeket megépíteni, nem elkerülhető az alkalmazásuk.

1. táblázat: A nyomtatások idő- és anyagszükséglete

Fsz.	Típus	Filamenthossz (m)	Nyomatási idő (min)
1.	10-60-U50	32,9	221
2.	10-90-U50	28,4	188
3.	10-60-U100	41,4	227
4.	10-90-U100	38,3	256

Forrás: a szerző szerkesztése

A gyártás időszükséglete az 1. táblázatban látható, amelyet kiegészítenék annyival, hogy ezek az adatok a szoftver által becsült értékek és a valóságban kismértékben növekedtek. A felhasznált filament hosszát tekintve szintén csak becsült értékekkel rendelkezem a CraftWare szoftver jóvoltából, amellyel a GCode előállítását végeztem.



3. ábra: Egy 60°-os kumulatív idomtöltet a GCode előállításakor

Forrás: a szerző felvétele

²¹ A modell rétegekre bontása a nyomtató számára.

A vizsgálat körülményei

Az empirikus eredmények Táborfalván, a Magyar Honvédség (MH) robbantási területén születtek meg. A tesztrobbantásokat az MH 1. Tűzszerész és Folyamőr Ezred (MH 1. TFE) kijelölt állományával hajtottam végre, klasszikusnak nevezhető villamos gyújtással. A villamos gyutacsokat soros kapcsolásba rendeztem, robbanóanyagként pedig a Semtex-H-t használtam, mert az tulajdonságai révén alkalmas a legyártott töltetek helyszíni töltésére és a kumulatív hatás hatékony kialakítására.²² Minden idomtöltethez készítettem egy fedlapot, amelyre egy, a gyutacs behelyezésére és pozicionálására szolgáló nyílást terveztem. A központi helyzetben a gyutacsok pontosan 10 mm-re lettek behelyezve a robbanóanyagba. A töltet indított oldali hosszát ehhez mérten 30 mm-t növeltem a céltárgy méretéhez képest, hogy az ideális vágáshoz szükséges detonációs sebesség ki tudjon alakulni a vágandó felületig.



4. ábra: Egy 90°-os kumulatív idomtöltet 50 mm-es U szelvény céltárgygal
Forrás: a szerző felvétele

A robbantás során egy 150 cm mély árokban helyeztem el a céltárgyakat a rájuk rögzített töltetekkel. Az árok aljában további 30 x 30 x 30 cm-es ágyat alakítottam ki, hogy a detonáció ne lehessen hatással a többi töltetre. A robbantás tapasztalatai azt mutatták, hogy a biztonság mint legfontosabb tényező²³ nem sérült. Repesz kiszóródást nem tapasztaltam.

²² DARUKA 2016: 39; DARUKA–CSURGÓ 2017: 44–55.

²³ PADÁNYI 1994: 63.



5. ábra: Egy 60°-os kumulatív idomtöltet 100 mm-es U szelvény céltárggyal
Forrás: a szerző felvétele

A töltetek tömegét, feltöltöttségét méréssel ellenőriztem, és az így kapott adatokat a 2. táblázatban mutatom be, amelyből az is látható, hogy típusonként három-három robbantással hajtottam végre a vizsgálatot. Két céltárgyváltozaton (4. és 5. ábra) tanulmányoztam a hatékonyságot, amelyek melegen hengerelt, szabványos U szelvények voltak. A kisebb, 50 mm-es szelvény 150 mm-es hossza, míg a nagyobb, 100 mm-es típus 110 mm-es darabokra lett vágva. Összesítve tehát 12 idomtöltetet sikerült a vizsgálat alatt felrobbantani. Minden töltet rövidítésekből álló elnevezést kapott, amely a vágóél belső szélességéből (minden esetben 10 mm), a vágóél hajlási szögéből (60° vagy 90°) és a céltárgy típusából tevődik össze.

2. táblázat: A felrobbantott töltetek paramétereit

Fsz.	Típus	Töltetház tömege (g)	Robbanóanyag tömege (g)	Szerelt tömege (g)
1.	10-60-U50	84	110	194
2.	10-60-U50	85	111	196
3.	10-60-U50	85	111	196
4.	10-90-U50	73	91	164
5.	10-90-U50	73	91	164
6.	10-90-U50	73	91	164
7.	10-60-U100	109	138	247
8.	10-60-U100	109	138	247
9.	10-60-U100	108	137	245
10.	10-90-U100	92	116	208
11.	10-90-U100	92	115	207
12.	10-90-U100	92	116	208

Forrás: a szerző szerkesztése

A töltetházak tömegének adatai típusonként egységes és meggyőző képet festenek a feltöltés és a gyártás sikerességéről, ugyanis mindkettőnél csupán 1 g-os hiba jelentkezett. A robbanóanyagnál ez nagyon fontos szempont, és ez a kismértékű eltérés véleményem szerint nem lehetett befolyással az eredményekre.

Az idomtöltetek kialakításuk miatt illeszkedtek a szelvényekhez, indított oldalukon 30 mm-rel, a másik végükön 10 mm-rel nyúltak túl az U szelvény külső felületén. A rögzítést hagyományos, kiskereskedelembe beszerezhető szigetelőszalaggal oldottam meg.

A robbantás előkészítésének a folyamata az alábbi lépésekből állt:

- a gyutacs illesztésére szolgáló fedlapok rögzítése;
- a töltetházak tömegének ellenőrzése üres állapotban;
- a töltetek feltöltése plasztikus robbanóanyaggal;
- a töltetek tömegének ellenőrzése digitális mérleggel;
- a töltetek rögzítése a céltárgyakhoz ragasztószalaggal;
- a céltárgyak és a töltetek behelyezése a robbantásra kialakított gödrökbe;
- a villamos gyutacsok behelyezése a töltetekbe.

A vizsgálati eredmények

Az 1. töltettípus 10 mm-es vágóélnyílással és 60°-os hajlásszöggel készült 50 mm-es szabvány U szelvényből alkotott céltárgyhoz, eredményei a 6. ábrán láthatók. Az első töltet teljes vágást eredményezett, amelyben helyenként szakadásos képlet látható, és a vágásnál jelentősen torzult, összenyomódott az acél.

A második töltet esetében is jelentős az anyagtorzulás a robbantott keresztmetszetben. Az indított oldalon határozott vágás látható, a hosszú oldalon 25 x 17 mm-es lyuk alakult ki, 8 mm-en pedig valamelyest megmaradt az anyagfolytonosság. Az utolsó oldalon szintén azonosítható a vágás, de 15 mm-en nem vált szét teljesen az anyag.

A harmadik céltárgy a másodikhoz hasonlóan nyomódott össze: az indított fele elvált, a hosszú oldalon 20 x 17 mm-es lyukasztás tapasztalható, és 6 mm-en nem történt teljes vágás. Az utolsó oldal a második céltárggyal megegyező módon 15 mm-es szakaszon részlegesen egyben maradt.



6. ábra: Az 1. töltettípus vágási eredményei

Forrás: a szerző felvétele

A 2. töltettípus 10 mm-es vágóélnylással és 90°-os hajlásszöggel készült 50 mm-es szabvány U szelvényből alkotott céltárgyhoz. A robbantási eredményeket a 7. ábra szemlélteti – valamennyinél azonosítható, hogy a robbantott keresztmetszetben jelentős volt a torzulás. Az indított oldalak mindegyike határozott vágásképletet mutat, míg a hosszú oldalakon minden esetben ovális lyuk alakult ki, eltérő mértékben: a legnagyobb változata 25 x 15 mm, a legkisebb pedig 20 x 13 mm. Ezeken az oldalakon 6 mm-es szakaszon nem sikerült teljes vágást elérni. Az utolsó oldalak esetében 15–18 mm-en maradt valamelyest egyben a felület.



7. ábra: A 2. töltettípus vágási eredményei

Forrás: a szerző felvétele

A 3. töltettípus 10 mm-es vágóélnylással és 60°-os hajlásszöggel készült 100 mm-es szabvány U szelvényből alkotott céltárgyhoz. A felrobbantott céltárgyakat a 8. ábrán mutatom be. Itt is mindegyik céltárgynál fellépett torzulás a robbantott keresztmetszetben, de ez nem volt olyan jelentős, mint az eddig bemutatott esetekben. Az indított oldalak mindegyikénél markáns vágás látható. A hosszú oldalakon itt is minden esetben ovális lyuk alakult ki, amely eltérő nagyságú, hossza 40–45 mm. Ezeken az oldalakon hozzávetőleg 16–22 mm-es szakaszokon nem sikerült teljes vágást elérni. Az utolsó oldalak esetében 27–29 mm-en maradt egyben a felület, de az első töltetnél alig volt érzékelhető a robbantás hatása.



8. ábra: A 3. töltettípus vágási eredményei

Forrás: a szerző felvétele

A 4. töltettípus 10 mm-es vágóélnylással és 90°-os hajlásszöggel készült 100 mm-es szabvány U szelvényből készített céltárgyhoz. A felrobbantott céltárgyak egymás mellett a 9. ábrán láthatók. A robbantott keresztmetszetben fellépő összenyomódás itt is mindegyik céltárgynál megjelent. Valamennyi indított oldalon rendezett vágás látható, amely nem annyira markáns, mint az előző típusoknál, és 8–12 mm hosszán csak repedezetség azonosítható. A hosszú oldalakon kialakult ovális lyukak itt már nagyobbak, hosszuk 45–50 mm közötti. A lyukak két szélén, a sarkoknál nem sikerült vágást elérni. Az utolsó oldalak esetében 15–20 mm-en maradt egyben a felület.



9. ábra: A 4. töltettípus vágási eredményei

Forrás: a szerző felvétele

Összegzés

A robbantások megmutatták, hogy a néhány kevésbé sikeres vágás ellenére van értelme a terület további kutatásának. A kisebb, 50 mm-es U szelvény céltárgyak esetében egy alkalommal teljes volt a vágás, és az összes többi esetben kijelenthető, hogy ha valódi szerkezeti elemeket robbantottam volna fel, tartószerkezeti funkciójuk megszűnt volna. Ebben a méretben a 60°-os változat számomra meggyőzőbb teljesítményt nyújtott, de a másik eredmény sem jelentőség nélküli. Itt további vizsgálatok szükségesek még, hogy hiteles kép alakuljon ki a megfelelő hajlásszögről.

A nagyobb céltárgyak esetében egyértelmű, hogy nagyobb töltetekre lesz szükség a számottevő eredmények eléréséhez. Itt a töltetre nézve kifejezetten az jelentette a nagy kihívást, hogy a sarkokon a teljesítményéhez képest jelentős volt az ívelt anyagvastagság. Ez a maximálisan 15 mm-nek számítható acél már meghaladta a becsült vágási képességeket, amit az eredmények jól alátámasztottak. Mindenképpen fontos eredmény, hogy a 30 mm bevezető szakasz elegendőnek bizonyult az optimális vágás kialakulásához, és a 10 mm-es kilépő szakasz is megfelelt az elvárásoknak.

Kijelenthető, hogy ezek az idomtöltetek alkalmasak lehetnek egyes tartószerkezetek elemeinek rombolására, sőt speciális helyzetben akár improvizált robbanótestek²⁴ vagy nagy méretű katonai eredetű robbanótestek²⁵ hatástalanításában is szerepet kaphatnak, mert tervezésük ívelten is lehetséges. A műszaki támogatás rendszerén²⁶ belül tehát megvan a helye ezeknek a kumulatív idomtölteteknek, de szükség van még további eredményekre, hogy a hétköznapokban is alkalmazható típusokat lehessen kialakítani.

Irodalomjegyzék

- ÁDÁM Balázs – EMBER István (2022): Béléstestek készítésének technikai lehetőségei alacsony sűrűségű anyagból. *Műszaki Katonai Közlöny*, 32(3), 101–111. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2022.3.6>
- 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*, 1(16), 1–23. Online: www.med.u-szeged.hu/download.php?docID=90702
- CHANG et al. (2015): Numerical Simulation of Modified Low-Density Jet Penetrating Shell Charge. *International Journal of Simulation Modelling*, 14(3), 426–437. Online: [http://doi.org/10.2507/IJSIMM14\(3\)5.295](http://doi.org/10.2507/IJSIMM14(3)5.295)
- DARUKA Norbert (2014): Robbanótestek I. – Amit a bombákról tudni érdemes. *Műszaki Katonai Közlöny*, 24(4), 68–82. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/mkk/article/view/2298/1565>
- DARUKA Norbert (2016): Robbanóanyag-ipari alapanyagok és termékek osztályozásának lehetőségei. *Műszaki Katonai Közlöny*, 26(1), 26–43. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/mkk/article/view/2187/1456>
- DARUKA Norbert – CSURGÓ Attila (2017): Military Explosive Ordnance – The Bomb. In BEŇOVSKÝ, Marián (szerk.): *Trhacia technika 2017*. Banská Bystrica: Slovenská spoločnosť pre trhacie a vŕtacie práce, 44–55.
- DARUKA Norbert – KOVÁCS Zoltán (2013): IEDD: Improvised Explosive Device Disposal. In KRIVANEK, Vaclav – STEFEK, Aleksandr (szerk.): *International Conference on Military Technologies: ICMT 2013*. Brno: University of Defence, 383–390.
- DOIG, Alistair (1998): Some Metallurgical Aspects of Shaped Charge Liners. *Journal of Battlefield Technology*, 1(1), 1–3. Online: https://cdn.preterhuman.net/texts/terrorism_and_pyrotechnics/explosives/Shaped_Charges_Penetrators/Some_metalurgical_aspects_of_shaped_charge_liners.pdf
- EMBER István (2022a): Hatásvizsgálati robbantás kumulatív töltetekkel. *Műszaki Katonai Közlöny*, 32(3), 13–23. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2022.3.2>
- EMBER István (2022b): Modern kumulatív töltetek hatékonyságának vizsgálata. *Haditechnika*, 56(6), 15–20. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.56.6.03>
- EMBER István (2022c): 3D nyomtatott lyukasztó töltetek hatásvizsgálata. *Hadmérnök*, 17(4), 63–73. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2022.4.5>
- EMBER István – ÁDÁM Balázs (2022): Kumulatív töltetházak 3D nyomtatása. *Hadmérnök*, 17(3), 35–44. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2022.3.2>

²⁴ KOVÁCS 2012a: 37–52; 2012b: 35–44; DARUKA–KOVÁCS 2013: 384–389.

²⁵ DARUKA 2014: 70–78.

²⁶ KOVÁCS 2002: 30–35.

- FAZEKAS Ferenc (2022): Application of Artificial Intelligence in Military Operations Planning. *AARMS – Academic and Applied Research in Military and Public Management Science*, 21(2), 41–54. Online: <https://doi.org/10.32565/aarms.2022.2.3>
- GÁL Bence – NÉMETH András (2019): Additív gyártástechnológiák katonai alkalmazásának vizsgálata, különös tekintettel a katonai elektronika területére. *Hadmérnök*, 14(1), 231–249. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2019.1.19>
- GYARMATI József – HEGEDŰS Ernő – GÁVAY György (2022): Automata sebességváltóban alkalmazott kapcsolt bolygóművek – Wilson-váltó. Harckocsi-sebességváltó modell kialakítása 3D nyomtatással oktatási célból. *Műszaki Katonai Közlöny*, 32(3), 113–126. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2022.3.7>
- KOVÁCS Zoltán (2002): Gondolatok a műszaki támogatás és a műszaki zárás alapjairól. *Nemzetvédelmi Egyetemi Közlemények*, 6(1), 30–46.
- KOVÁCS Zoltán (2012a): Az improvizált robbanóeszközök főbb típusai. *Műszaki Katonai Közlöny*, 22(2), 37–52. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/mkk/article/view/2804/2063>
- KOVÁCS Zoltán (2012b): Fontos létesítmények IED elleni védelme. *Műszaki Katonai Közlöny*, 22(ksz.), 35–44. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/mkk/article/view/2584/1851>
- 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 (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: Dialóg Campus. Online: <https://tudasportal.uni-nke.hu/xmlui/handle/20.500.12944/6916>
- NÉMETH András – VIRÁGH Krisztián (2022): Mesterséges intelligencia és haderő – A mesterséges intelligencia fejlődéstörténete I. rész. *Haditechnika*, 56(1), 17–22. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.56.1.03>
- PADÁNYI József (1994): *A Magyar Honvédség műszaki csapatainak lehetőségei és feladatai békeidőben a természeti és civilizációs katasztrófák megelőzésében és a következmények felszámolásában*. Kandidátusi disszertáció. Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem.
- TÓTH József Lukács – VÉG Róbert László (2022): Az autonóm terepjáró eszközök. *Műszaki Katonai Közlöny*, 32(2), 107–116. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2022.2.8>
- VÉGVÁRI Zsolt – HEGEDŰS Ernő – ZENTAY Péter (2022): A 3D-s nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei I. rész. *Haditechnika*, 56(6), 58–62. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.56.6.09>
- YI, Jianya et al. (2019): Simulation Study on Expansive Jet Formation Characteristics of Polymer Liner. *Materials*, 12(5), 744. Online: <https://doi.org/10.3390/ma12050744>