

Ember István<sup>1</sup>

# Additív eljárással készült lineáris vágótöltetek működésének vizsgálata<sup>2</sup>

## Performance Testing of Additive Linear Cutting Charges

### Absztrakt

Napjaink egyik rohamosan fejlődő területe a 3D nyomtatás, amely több évtizedes múltra tekint vissza, mégis csak most lett széles körben elterjedt. Az additív eljárások sok lehetőséget biztosítanak alkatrészek készítésére. Az egyik ilyen terület, ahol alkalmazni lehet ezt a gyártási módszert, a robbantástechnika. Az egyedi töltetek és a kumulatív robbantási feladatok területén jelentős mozgásteret ad ez a technológia, azonban az alacsony sűrűségű alapanyagok esetében nem minden részterületen rendelkezünk kellő tapasztalattal. A bemutatott tesztben sikerült több ilyen töltet működését megvizsgálni robbantás után a céltárgyak elemzésével. Többek között az optimális vágáshoz szükséges távolságot is sikerült azonosítani, ami hasznos ismeret lesz a további töltetek tervezésénél.

**Kulcsszavak:** hatásvizsgálat, 3D nyomtatás, vágótöltet, robbantás, PLA

### Abstract

3D printing is one of today's fast-growing fields, with a history stretching back decades, yet it is only now becoming a widespread solution. Additive processes offer many possibilities for the manufacture of components. One of the areas where this manufacturing method

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

<sup>2</sup> A cikk a Kulturális és Innovációs Minisztérium ÚNKP-22-3-II-NKE-27 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a nemzeti kutatási, fejlesztési és innovációs alapról finanszírozott szakmai támogatásával készült.

*can be applied is the blasting technology. For customized charges and cumulative blasting tasks, this technology offers considerable scope, but for low-density materials, we do not always have sufficient experience in these areas. In the study presented, it was possible to investigate the performance of several such charges by analysing targets after blasting. Among others, the optimal distance for cutting was identified. This will be useful knowledge for the design of further charges.*

*Keywords: efficiency trial, 3D printing, cutting charge, blasting, PLA*

## Bevezetés

Az additív gyártás alkalmazása széles körben elterjedt napjainkban. Egyre több háztartásban jelenik meg 3D nyomtatásra képes technikai eszköz, amely megkönnyíti a hétköznapiakat, és eddig pótolhatatlannak gondolt alkatrészek és tárgyak válnak olcsón és gyorsan<sup>3</sup> elérhetővé általa.

A katonai alkalmazás területén is egyre nagyobb teret hódít magának<sup>4</sup> ez a korántsem új, de jelenleg még felfutó módszer. Az oktatást támogató eszközöktől<sup>5</sup> egészen az egyedi és nagy teherbírású alkatrészekig szinte minden elkészíthető 3D nyomtatással. Az additív gyártásra képes eszközök alkalmazása éppen ezért illeszkedik a hadtudományok tekintetében kijelölt fő kutatási irányokhoz.<sup>6</sup> Meg kell említeni, hogy vannak kihívói ennek a területnek, ugyanis a mesterséges intelligencia alkalmazásának katonai módozatai, lehetőségei<sup>7</sup> szintén nagy figyelemnek örvendenek napjainkban.

Nem mehetünk el a gondolat mellett, hogy az eljárás és annak széles körben elterjedt módozatai kifejezetten olcsó megoldást biztosítanak egy-egy problémára, azonban ez esetenként némi tervezési, gyártási tapasztalatot, ismeretet igényel. Előbbire főleg abban az esetben van szükség, ha a nyomtatásra tervezett tárgy már elkészült 3D modellje nem elérhető az internet valamelyik letöltőplatformján ingyenes vagy fizetős formában.

Természetesen a haditechnikai vagy robbantástechnikai vonatkozású sablonok nem hozzáférhetők a fenti módszerrel, éppen ezért tervezni és kivitelezni egyaránt szükséges őket egy-egy kutatáshoz. Az általam vizsgált kumulatív nyújtott töltetek, vagy közismertebb nevükön vágótöltetek esetében is ez a helyzet. A tervezési nehézségek és a kialakítatlan gyártási menet ellenére azonban szükséges, hogy a robbantástechnikába is bekerüljön az eljárás.

A fent nevezett vágótöltetek általánosságban valamilyen brizáns,<sup>8</sup> bináris<sup>9</sup> robbanóanyaggal készülnek el. A robbanás energiájának fókuszálásával<sup>10</sup> képesek főleg fémből készült tárgyak darabolására, anyagfolytonosságuk részleges vagy teljes megszüntetésére.

<sup>3</sup> GÁL-NÉMETH 2019: 233.

<sup>4</sup> VÉGVÁRI-HEGEDŰS-ZENTAY 2022: 58–62.

<sup>5</sup> GYARMATI-HEGEDŰS-GÁVAY 2022: 125–126.

<sup>6</sup> BODA et al. 2016: 1–23.

<sup>7</sup> NÉMETH-VIRÁGH 2022: 21; FAZEKAS 2022: 51–52; TÓTH-VÉG 2022: 114.

<sup>8</sup> LUKÁCS 2017: 26.

<sup>9</sup> KUGYELA 2020: 58–75.

<sup>10</sup> LUKÁCS 2010: 175–185.

A bemutatott vizsgálatban az additív gyártás egyik módszerével készült vágótöltetek működését fogom megvizsgálni, kifejezetten azok vágásmintáját. Elvárásaim szerint sikerül majd megállapítani egy értéket, amely tükrözi, hogy a töltet gyutacsoldali végén milyen távolságban fut fel a detonáció a robbanóanyagban olyan szintre, hogy kialakuljon a töltet optimális vágóhatása. Mindezt olyan töltetek esetében, amelyek nem tartalmaznak fém komponenst, kizárólag alacsony sűrűségű anyagokból készülnek.

A fő cél megvizsgálni a töltetek általános működési hatékonyságát és adatokat gyűjteni a vágás méretéről a céltárgyakon. Ez adatot szolgáltat majd további kumulatív idomtöltetek tervezéséhez, amelyek esetében kifejezetten az optimális vágáshoz szükséges felfutási távolság lesz majd fontos. Ez utóbbira feltételezésem az, hogy 20 mm körüli értékkel kell majd számolni.

## A vizsgált töltetek

Ebben a vizsgálatban politejsav (PLA<sup>11</sup>) alapanyagból készült töltetekkel végeztem empirikus tesztek. Több szempontból is praktikus ez az anyag. Valamennyivel könnyebben bomlik, mint a polimerek általában, könnyen beszerezhető, könnyen nyomtatható, és mivel elterjedt az additív gyártásban, nagy tapasztalat áll rendelkezésre vele kapcsolatban. Korábban már volt szerencsém az alapanyagot hasonló kutatási projektnél alkalmazni.<sup>12</sup>

A vágótölteteket lineáris formában alakítottam ki. A falvastagságuk egyaránt 3 mm a teljes test esetében. Ezt az adatot korábbi eredményeimre alapozva határoztam meg, amelyeket kumulatív töltetek hatékonyságának vizsgálatakor értem el.<sup>13</sup> A hivatkozott kutatás azt mutatja, hogy ennél akár vékonyabb is lehet a kumulatív béléstest jobb hatékonysággal,<sup>14</sup> de ezt az eredményt egyelőre nem találtam teljesen megalapozottnak.

Az indított végén a gyutacs behelyezésére egy zárólapot terveztem, amely központi helyzetben tartja a gyújtási lánc első elemét. A központi helyzet kifejezetten fontos szempont, mert így ideális körülmények mellett fut fel a detonációs sebesség a robbanóanyag teljes keresztmetszetében.

A béléstest egy egészet képez a töltetházzal. A vizsgált változatoknál a vágóél két hajlítási szögben készült: 60° és 90°. Ezzel szeretnék átfogóbb képet kapni az esetleges további fejlesztési irányokhoz. A hajlított vágóélek nyílástávolságát 10 mm-ben határoztam meg mindkét változat esetében.

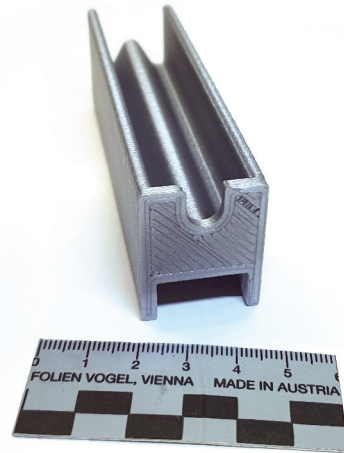
Az 1. ábrán egy 60°-os változatot mutatok be, amelynek felületén jól láthatók az additív gyártás rétegei.

<sup>11</sup> Angolul: poly lactic acid.

<sup>12</sup> ÁDÁM-EMBER 2022a: 101–111.; ÁDÁM-EMBER 2022b: 35–44.

<sup>13</sup> EMBER 2022a: 13–23; EMBER 2022b: 15–20; EMBER 2022c: 63–73.

<sup>14</sup> AGU 2019.



1. ábra: 60°-os lineáris vágótöltet

Forrás: a szerző felvétele

A 3D modellek elkészítésére számítógéppel támogatott tervezési formát (CAD<sup>15</sup>) választottam, amely elengedhetetlen az additív gyártás általam alkalmazott módszeréhez. A számítógépes modelleket (2. ábra) FreeCAD 0.19 szoftverrel készítettem. A töltetek elkészítéséhez használt 3D nyomtató „duál extruder”<sup>16</sup> CraftBot 3 típus volt, amelyet 0,8 mm-es fúvókával szereltem a feladathoz. Ez utóbbi lehetővé tette, hogy viszonylag gyorsan, de kevésbé sima felülettel készüljenek el a munkadarabok. A gyártáshoz ugyanazon gyártó egyező színű és paraméterekkel rendelkező termékét használtam fel alapanyagként.



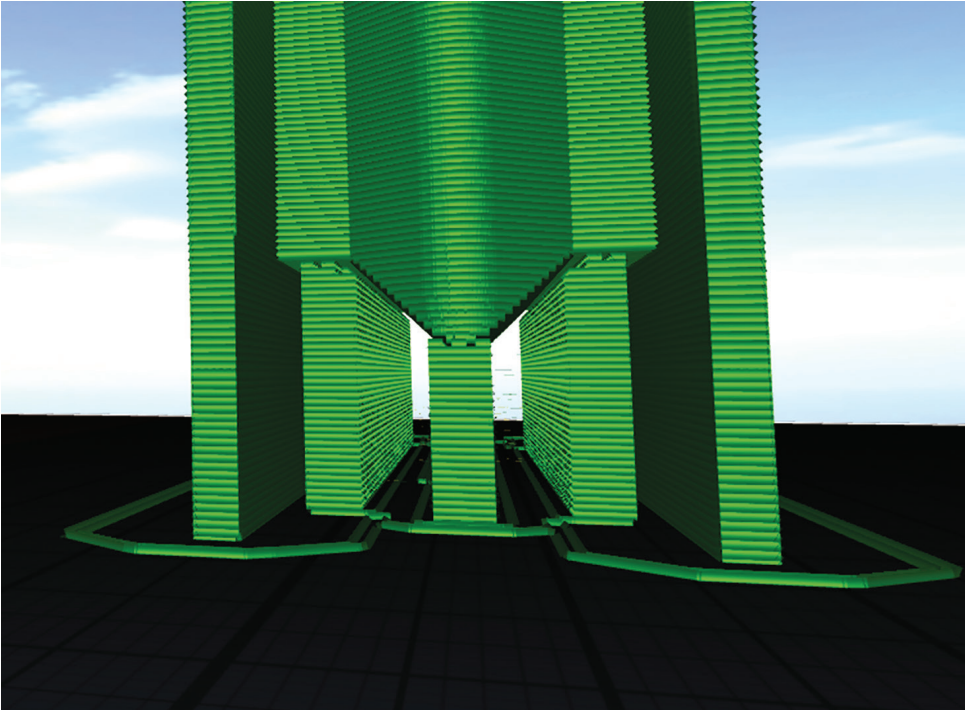
2. ábra: 60°-os lineáris vágótöltet CAD-modellje a tervezőszoftver felületén

Forrás: a szerző szerkesztése

<sup>15</sup> Angolul: computer-aided design.

<sup>16</sup> Két nyomtatófej egyidejű vagy váltott alkalmazására képes.

Mivel a fent nevezett nyomtató szálhúzásos vagy szálolvasztásos (FDM<sup>17</sup>) rendszerű gyártást tesz lehetővé, a modell kialakítása és szeletelése is ehhez a folyamathoz lett optimalizálva. Ennek keretében több dologra is figyelmet kellett fordítani, de a támaszok elhelyezkedéséből és mennyiségéből adódó szempontok voltak a legfontosabbak. A támaszok elengedhetetlenek egy bizonyos építési szög felett vagy a modell „lebegő” részei esetében (3. ábra), viszont eltávolításuk esetenként érdes felületeket hagy maga után, ritkábban akár rongálhatja is az alkatrészt.



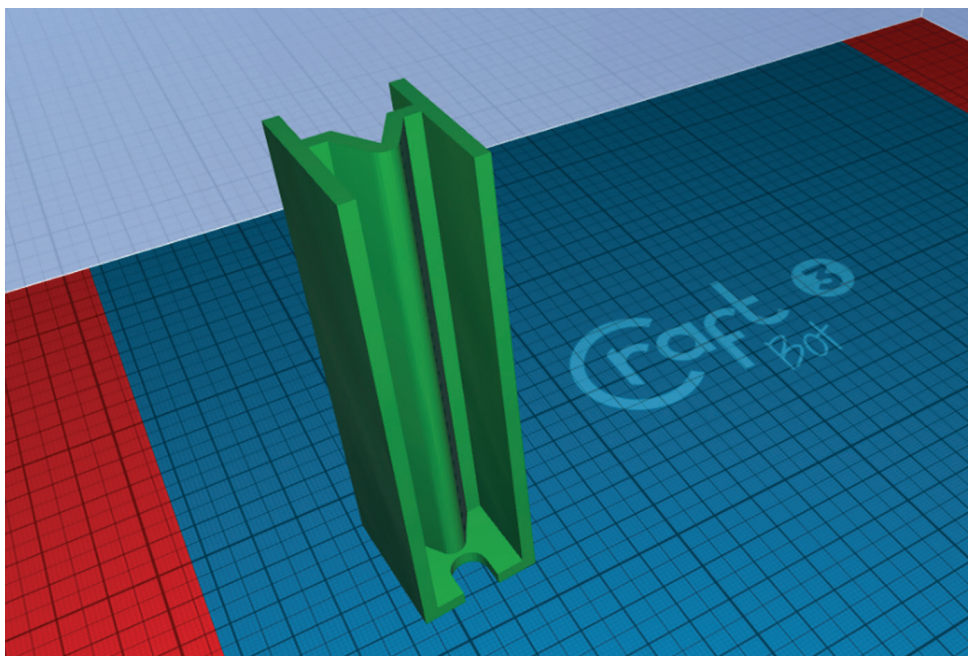
3. ábra: Gyártási támasz egy idom vágótöltet esetében

Forrás: a szerző szerkesztése

A gyártás időszükséglete nem volt jelentős. Állított pozícióban (4. ábra) a 60°-os töltet elkészítése a szoftver előrejelzése alapján 1 óra és 14 perc, míg a kisebb, 90°-os változatnál ez 1 óra és 2 perc volt. A jelzett adatok a valóságban nem voltak pontosak, a tárgyak hozzávetőleg 10%-os időtöbblettel készültek el. A felhasznált filament hosszát 13, valamint 11,2 m-re kalkulálta g-code<sup>18</sup> előállításakor a CraftWare szoftver.

<sup>17</sup> Angolul: fused deposition modelling.

<sup>18</sup> A 3D nyomtató számára feldolgozásra alkalmas fájl, mely tartalmazza a szükséges gyártási paramétereket.



4. ábra: 60°-os lineáris vágótöltet megjelenítése a CraftWare szoftverben  
Forrás: a szerző szerkesztése

## A vizsgálat körülményei

A tesztrobbantásra Táborfalván került sor a Magyar Honvédség (MH) robbantási területén, a végrehajtásban pedig a MH 1. Tűzszerész és Folyamőr Ezred (MH 1. TFE) szakállománya segédkezett és biztosította feltételeket.

A robbantási feladatot villamos gyújtóhálózattal hajtottam végre, amelyben a gyutacsok soros kapcsolásba voltak rendezve. A vágótölteteket Semtex-H típusú robbanóanyaggal töltöttem fel, amely kiváló tulajdonságokkal rendelkezik a katonai robbantásokhoz.<sup>19</sup> A tölteten kialakított nyílásba helyeztem a villamos gyutacsokat, amelyek pontosan 10 mm-t hatoltak be a töltet belsejébe. A robbantás során a tölteteket olyan térközzel helyeztem el, hogy azok egymásra ne lehessenek az eredményt befolyásoló hatással. Mivel a robbantásoknál a legfontosabb tényező a biztonságos végrehajtás,<sup>20</sup> egy 150 cm mély árok alján kialakított 30 × 30 cm-es alapterületű és 30 cm mély üregekben helyeztem el a céltárgyakat a rájuk rögzített töltetekkel.

A kialakított töltetek tömegének adatait az 1. táblázatban láthatjuk, amely azt is megmutatja, hogy típusonként 3–3 db robbantásával hajtottam végre a tesztet. Minden változat 100 mm hosszúságú volt, az eltartást a vágóél szélességében

<sup>19</sup> DARUKA 2016: 39.; DARUKA – CSURGÓ 2017: 44–55.

<sup>20</sup> PADÁNYI 1994: 63.



(10 mm) határozta meg. Mindegyik rövidítésekből álló elnevezést kapott, amely a vágóél belső szélességéből mm-ben, a vágóél hajlási szögéből és a töltet alakjának jelzéséből tevődött össze.

1. táblázat: A felrobbantott töltetek paraméterei

| Fsz. | Típus     | Töltetház tömege (g) | Robbanóanyag tömege (g) | Szerelt tömege (g) |
|------|-----------|----------------------|-------------------------|--------------------|
| 1.   | 10–60–LIN | 15                   | 63                      | 78                 |
| 2.   | 10–60–LIN | 15                   | 63                      | 78                 |
| 3.   | 10–60–LIN | 15                   | 63                      | 78                 |
| 4.   | 10–90–LIN | 15                   | 54                      | 69                 |
| 5.   | 10–90–LIN | 15                   | 54                      | 69                 |
| 6.   | 10–90–LIN | 15                   | 54                      | 69                 |

Forrás: a szerző szerkesztése

A töltetházak tömegének adatai teljesen egységes képet adtak. A gyártásnál és a fel-töltésnél sem volt probléma az egyező tömeg elérése. A robbanóanyag esetében ez kifejezetten fontos szempont lehet, bár kismértékű eltérés vélhetően nem befolyásolná mértékadó módon az eredményeket.

A céltárgyak mindegyike szabványos 50 mm-es, melegen hengerelt „U” szelvény volt. Ezeket egy teljes, 6 m hosszú szálból vágtam 150 mm-es darabokra. A tölteteket a szelvény hossz tengelyében helyeztem el, azokat pontosan a végéhez igazítva, hogy mérhető eredményt kaphassak a hatékony vágás kialakulásának távolságáról. A rögzítést szigetelőszalaggal oldottam meg, ami kellően stabilnak bizonyult.

A robbantás előkészítésének a folyamata az alábbi lépésekből állt:

- 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. töltet (5. ábra) esetében a céltárgy felületén 105 mm-es szakaszon látható vágás, és további 30 mm-en folytatódó repedés található a felületen. A vágott rész szélessége 16–48 mm közötti értéket mutat. A vágás első 10–20 mm-es szakasza egyenetlen, tépéses felületet mutat, ami arra utal, hogy ezen a szakaszon a töltet vágó hatása még nem érvényesült teljesen, az anyagfolytonosságot vélhetően a további erőhatások szüntették meg, nem pedig az alapfunkció.



5. ábra: Az 1. töltet a céltárgyon és a vágás eredménye  
Forrás: a szerző felvétele

A 2. töltet (6. ábra) esetében a céltárgy felületén 102 mm-es szakaszon azonosítható vágás, és a teljes felület folytatólagosan elrepedt. A vágás első 10 mm-es szakasza egyenetlen, és itt is tépéses felületet mutat.



6. ábra: A 2. töltet a céltárgyon és a vágás eredménye  
Forrás: a szerző felvétele

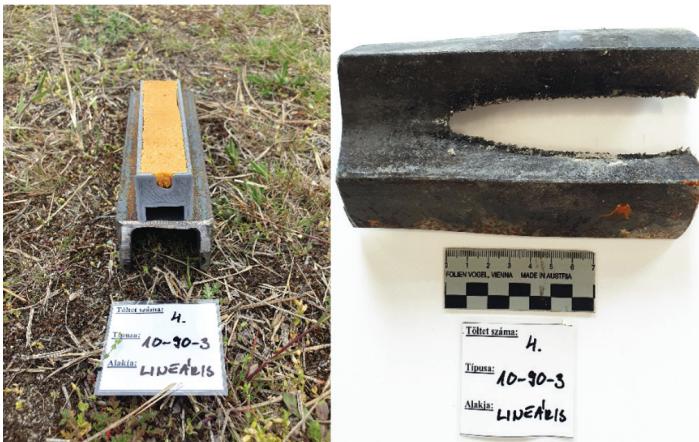
A 3. töltet (7. ábra) esetében a céltárgy felületén 108 mm-es szakaszon látható vágás, és további 13 mm-en folytatólagosan elrepedt a felület. A vágás szélessége 10–30 mm között változik. A vágott szakasz első 10–20 mm-es szakasza ebben az esetben is egyenetlen, szakadásos felületet mutat.





7. ábra: A 3. töltet a céltárgyon és a vágás eredménye  
Forrás: a szerző felvétele

A 4. töltet (8. ábra) esetében a céltárgy felületén 106 mm-es szakaszon azonosíthatunk vágást, amely további 13 mm-en repedést okozott a felületen. A vágás szélessége 5–20 mm között változik. A vágott szakasz elején 10–15 mm hosszan tépett felület látható.



8. ábra: A 4. töltet a céltárgyon és a vágás eredménye  
Forrás: a szerző felvétele

Az 5. töltet (9. ábra) esetében a céltárgy felületén 110 mm-es szakaszon látható vágás és további 12 mm-en repedés, amely folytatólagos a vágás irányára. A vágott szakasz szélessége 3–27 mm közötti. A vágott szakasz 22 mm hosszan szakadással kezdődik.



9. ábra: Az 5. töltet a céltárgyon és a vágás eredménye  
Forrás: a szerző felvétele

A 6. töltet (10. ábra) esetében a céltárgy felületén 107 mm-es szakaszon azonosíthatunk vágást és további 11 mm-en repedést, amely folytatódólagos a vágás irányára. A vágott szakasz szélessége 6–22 mm közötti. A vágott szakasz 20–22 mm hosszan szakadással indul.



10. ábra: A 6. töltet a céltárgyon és a vágás eredménye  
Forrás: a szerző felvétele

## Összegzés

Az elvégzett tesztek alapján kialakult egy jól látható kép az additív eljárással készített vágótöltetekről. Ezek a robbantások bemutatták, hogy lehetséges olyan hatékonyan működő töltetet készíteni, amely képes az 5 mm vastag homogén acélt elvágni. A céltárgyak mindegyikénél bekövetkezett a vágás, és viszonylag hasonló eredményt mutatott a hossz tekintetében, amely 102–110 mm közötti volt. A vágott felületek között már ennél nagyobb volt a szórás a nyílás méretének esetében, de ezt nem vizsgáltam tüzetesebben, hiszen a legkisebb méret is megfelel az elvárásoknak. A vágott szakaszok után minden esetben folytatódó repedés volt tapasztalható, amely 11 mm-től a teljes hosszig terjedt. A vágott szakaszok elején 10–22 mm intervallumban volt tapasztalható tépett perem, ami arra utalt, hogy a vágás még nem alakulhatott ki, a felület vélhetően a robbanás egyéb erőhatásaitól vált el.

Ezek az adatok alátámasztják a feltételezésemet, amely szerint az 1 cm-re behelyezett gyutacs és további 1 cm szükséges ahhoz, hogy a robbanóanyagra jellemző detonációs sebesség kialakuljon, ezzel megteremtve a kumulatív hatás optimumát. Mivel azonban egy esetben ennél 10%-kal magasabb adatot is mértem, a továbbiakban a feljebb említett optimális teljesítmény kialakulása érdekében a vágandó objektum kezdetétől 3 cm-rel távolabb szükséges a folyamatot elindítani. Ez a kiegészített hossz a fenti eredmények alapján biztosítja majd, hogy a detonáció a céltárgy felületét elérve már képes legyen hatékonyan elvágni azt.

Sikerült tehát meghatározni azt az adatot, amely alapvető a 3D nyomtatással készített kumulatív idomtöltetek tervezésekor, legalábbis abban az esetben, ha alacsony sűrűségű anyagot alkalmazunk a vágóél készítésére.

Az ilyen eljárással készült töltetek tehát képesek hatékony vágásra, amellyel tartószerkezeteket semmisíthetünk meg, de különleges esetben akár improvizált robbanótestek<sup>21</sup> vagy nagy méretű hagyományos robbanótestek – mint a légbombák<sup>22</sup> – hatástalanításában is szerepet kaphatnak. A témakör még természetesen további vizsgálatokat követel, de jól látható, hogy a civil robbantástechnikában és a műszaki támogatás rendszerén<sup>23</sup> belül végzett robbantási feladatoknál egyaránt adódik lehetőség az alkalmazásukra.

## Irodalomjegyzék

ÁDÁM Balázs – EMBER István (2022a): Béléstestek készítésének technikai lehetőségei alacsony sűrűségű anyagból. *Műszaki Katonai Közlöny*, 32(4), 101–111. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2022.3.6>

ÁDÁM Balázs – EMBER István (2022b): Kumulatív töltetházak 3D nyomtatása. *Hadmérnök*, 17(3), 35–44. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2022.3.2>

<sup>21</sup> KOVÁCS 2012a: 37–52; KOVÁCS 2012b: 35–44; DARUKA–KOVÁCS 2013: 384–389.

<sup>22</sup> DARUKA 2014: 70–78.

<sup>23</sup> KOVÁCS 2002: 30–35.

- 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: [www.med.u-szeged.hu/download.php?docID=90702](http://www.med.u-szeged.hu/download.php?docID=90702)
- DARUKA Norbert (2014): Robbanótetek 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), 26–44. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/mkk/article/view/2187/1456>
- 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.
- DARUKA Norbert – CSURGÓ Attila (2017): *Military explosive ordnance – The bomb*. In BEŇOVSKÝ, M. (szerk.): *Trhacia technika 2017: Zbornik prednášok*. Banská Bystrica: Slovenská spoločnosť pre trhacie a vŕtacie práce, 44–55.
- EMBER István (2022a): Hatásvizsgálati robbantás kumulatív töltetekkel. *Műszaki Katonai Közlöny*, 32(4), 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>
- FAZEKAS Ferenc (2022): Application of Artificial Intelligence in Military Operations Planning. *AARMS*, 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), 30–35.
- KOVÁCS Zoltán (2012a): Az improvizált robbanóeszközök főbb típusai. *Műszaki Katonai Közlöny*, 22(2), 37–52. Online: [https://mkk.uni-nke.hu/document/mkk-uni-nke-hu/2012\\_2\\_03 IED-k f%C5%91bb t%C3%ADpusai-Kov%C3%A1cs\\_Z.pdf](https://mkk.uni-nke.hu/document/mkk-uni-nke-hu/2012_2_03%20IED-k%20f%C5%91bb%20t%C3%ADpusai-Kov%C3%A1cs_Z.pdf)
- KOVÁCS Zoltán (2012b): 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 IED elleni v%C3%A9delem-Kov%C3%A1cs\\_Z.pdf](https://mkk.uni-nke.hu/document/mkk-uni-nke-hu/2012_k_05%20IED%20elleni%20v%C3%A9delem-Kov%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 (2017): *Szemelvények a magyar robbantástechnika fejlődéstörténetéből, Különös tekintettel a továbbfejlesztés várható irányaira és a kor új kihívásaira.* Budapest: Dialóg Campus.
- LUKÁCS László (2010): A kumulatív töltetek és gyakorlati alkalmazásuk. *Műszaki Katonai Közlöny*, 20(1–4), 175–185. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/mkk/article/view/2866/2122>
- NÉMETH András – VIRÁGH Krisztián (2022): *Mesterséges intelligencia és haderő – A mesterséges intelligencia fejlődéstörténete I. rész.* *Hadmérnök*, 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 értekezés. Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem.
- TÓTH József Lukács – VÉG Róbert (2022): 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 nyomtatás és katonai alkalmazásának lehetőségei I. rész. *Haditechnika*, 56(6), 58–62. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.56.6.09>