

Ember István<sup>1</sup>

# Alacsony sűrűségű idomtöltetek tesztrobbantása<sup>2</sup>

## Test Blasting of Low-Density Shaped Charges

### Absztrakt

A 3D nyomtatás alkalmazása a robbantástechnikában is jelentős előnyöket hordozhat. Mivel széles körben elterjedt technológia, ezért a bevezetése nem jelenthet kihívást. A lehetséges alkalmazási terület pedig a különleges formájú idomtöltetek lehetnek. Vizsgálatomban olyan töltetek robbantási hatékonyságát mutatom be, amelyek nem tartalmaznak fémet, kizárólag alacsony sűrűségű anyagból készültek. A hatékonyságot tesztrobbantással vizsgáltam, amely során a kétféle eltérő béléstest-hajlásszöggel készült verzió megfelelt az elvárásoknak. A kevesebb befektetett energiát igénylő változat teljesítménye jobb volt, meggyőző képet mutatott.

*Kulcsszavak:* alacsony sűrűség, 3D nyomtatás, vágótöltet, robbantás, additív

### Abstract

The use of 3D printing in blasting technology can also bring significant benefits. As a widespread technology, its introduction should not be a challenge. A potential application could be in the field of special shaped charges. In my study, I will demonstrate the explosive performance of such charges, which do not contain any metal and are made exclusively of low-density materials. The effectiveness was tested by blasting, where two versions

<sup>1</sup> Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Műveleti Támogató Tanszék, egyetemi tanársegéd; Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Hadtudományi Doktori Iskola, doktorandusz, 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 alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

*with different liner body bending angles met the expectations. The version requiring less energy input performed better and presented a convincing picture.*

*Keywords: low-density, 3D printing, cutting charge, blasting, additive*

## Bevezetés

Az olcsó és gyors additív gyártás<sup>3</sup> terjedése megállíthatatlannak látszik világunkban. A manapság 3D nyomtatásnak nevezett eljárásnak több változata is lehetséges, az alacsony sűrűségű alapanyagok, polimerek esetében ez akár a háztartások számára is elérhető.

Érdeemes tehát abból a szempontból is vizsgálni a technológiát, hogy miként lehet kiaknázni a benne rejlő katonai lehetőségeket. Az mindenesetre kijelenthető, hogy egy ilyen technológia robbantástechnikai implementációja illeszkedik a hadtudomány legfontosabb vizsgálandó kérdéseibe.<sup>4</sup>

Az általam készített és az általánosságban használt kumulatív töltetek valamilyen brizáns<sup>5</sup> és/vagy bináris<sup>6</sup> robbanóanyaggal készülnek, és a robbanás energiáját sugárba rendezve képesek értékes munkát végezni.<sup>7</sup> A helyszínen tölthető változatok plasztikus vagy folyékony robbanóanyaggal szerelhetők készre.

A bemutatott teszt során kizárólag alacsony sűrűségű anyagokat használtam fel a töltetek gyártásához. Ez minden alkatrészükre igaz, a béléstestre és a töltetházra egyaránt. A fémek alkalmazása kumulatív töltetekben különböző célokkal már nagy kutatási és felhasználási múltra tekint vissza, azok legtöbb paraméterét, körülményét<sup>8</sup> már ismerjük. Az alacsony sűrűségű anyagok alkalmazása kevésbé vizsgált, mert az ilyen béléstestek jelentősen kisebb lyukasztási és vágási képességgel rendelkeznek. Természetesen a hátrányaik mellett előnyös tulajdonságaik is vannak egyes esetekben. Vannak azonban viszonylag friss eredmények a polimerek esetében, amelyek kínai kutatók munkásságához kötődnek, ahol ezeknek az anyagoknak a megnyúlását vizsgálták a jet formálódása közben.<sup>9</sup> Egy másik előremutató vizsgálatot pedig szimulációs környezetben végeztek el a szakemberek.<sup>10</sup>

Az általam bemutatott vizsgálatok során kizárólag additív megoldással készült tölteteket robbantottam fel, két változatban, eltérő hajlásszögű béléstesttel. A feltételezésem szerint az idomtöltetek hatékonyak lesznek mindkét verzióban. Esetleges probléma a céltárgyak sarkainál jelentkezhethet, ahol az acél vastagsága mérhetően nagyobb lesz a belső lekerékítés miatt. Ezeken a részeken előfordulhat, hogy részlegesen megmarad az anyagfolytonosság, de a tartószerkezeti funkció teljes megszűnését várom minden esetben.

<sup>3</sup> GÁL-NÉMETH 2019: 233.

<sup>4</sup> BODA et al. 2016: 1–23.

<sup>5</sup> LUKÁCS 2017: 26.

<sup>6</sup> KUGYELA 2020: 58–75.

<sup>7</sup> LUKÁCS 2010: 175–185.

<sup>8</sup> DOIG 1998: 1–3.

<sup>9</sup> YI et al. 2019: 744.

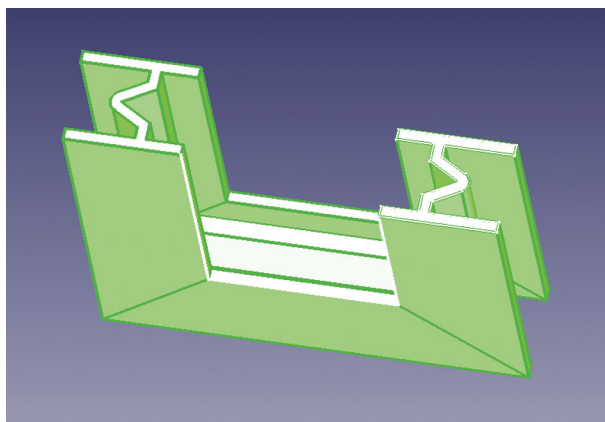
<sup>10</sup> CHANG et al. 2019: 426–437.

## A vizsgált töltetek

Minden egyes töltettípust egyedileg terveztem meg, figyelembe véve a céltárgy paramétereit. A falvastagságuk mindenhol 3 mm, amely adatot a korábbi kutatási adataimra alapozva határoztam meg.<sup>11</sup> Érdekes lehet vizsgálatra ennél vékonyabb vágóél is, mert a lent hivatkozott disszertációban ennél vékonyabb kumulatív béléstest is ért el viszonylag nagy átütést.<sup>12</sup> Véleményem szerint ez nem lehetetlen, de az eddigi tapasztalataim nem támasztják alá az állítást.

A politejsav (PLA<sup>13</sup>) megfelelő alapanyagnak tűnt, mert bőséges és elérhető tapasztalat áll rendelkezésre felhasználásáról. További előnye, hogy viszonylag olcsó és könnyen beszerezhető, s már személyes tapasztalataim is vannak az anyaggal,<sup>14</sup> ami jó alapnak tekinthető a töltetek készítésekor.

A vágótöltetek esetében olyan számvetéssel kell a méretet meghatározni, hogy a gyutacs végétől hozzávetőleg 10 mm-re éri el a detonációs sebesség a robbanóanyagra jellemző értéket. Ez persze csak egy becsült, tapasztalatokon nyugvó adat az általam alkalmazott plasztikus robbanóanyag esetében. A gyutacsoknál szintén 10 mm-t tekintek a legkisebb behelyezési mélységnek, bár ez is típusfüggő adat. Éppen ezért az idomtöltet indított oldalát 30 mm-rel hosszabbra terveztem, hogy biztosan eredményesen induljon meg a vágás a céltárgyon. A kilépő oldalon 10 mm ráhagyást hagytam annak érdekében, hogy biztosan eredményesen vágjon a céltárgy legvégén is a töltet.



1. ábra: Egy 60°-os kumulatív idomtöltet képe a tervezőszoftverben

Forrás: a szerző szerkesztése

A béléstest a töltetházzal egy testet képez, amelyet főleg gyártástechnológiai okból alakítottam ki ebben a formában. Két hajlásszögben készültek el az idomtöltetek, a 60°

<sup>11</sup> EMBER 2022a: 13–23; EMBER 2022b: 15–20; EMBER 2022c: 63–73.

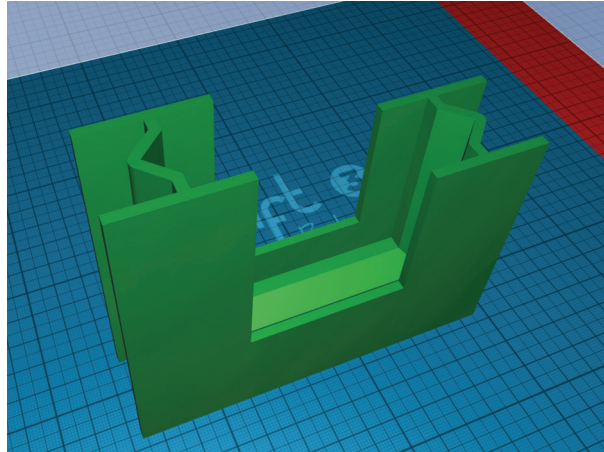
<sup>12</sup> AGU 2019.

<sup>13</sup> Angolul: poly lactic acid.

<sup>14</sup> ÁDÁM–EMBER 2022a: 101–111; ÁDÁM–EMBER 2022b: 35–44.

és 90° teljesítménye akár jelentősen is eltérhet, a további optimalizáláshoz fontos adatokat szolgáltathatnak majd az eltérő robbantási minták. A vágóélek 15 mm-es nyílással készültek el.

Az 1. ábrán egy 60°-os változatot mutatok be a tervező szoftver felületén, amelyet 50 mm-es „U” szelvényből készült céltárgyhoz méreteztem.



2. ábra: Egy 90°-os kumulatív idomtöltetmodell a g-code előállításakor

Forrás: a szerző szerkesztése

A 3D modelleket számítógéppel támogatott tervezéssel (CAD<sup>15</sup>), modellezéssel készítettem el. Mivel egyedi kialakítású töltetekről van szó, ez nélkülözhetetlen feladat volt. A modelleket FreeCAD 0.19 szoftverrel készítettem. A nyomtatást minden esetben „duál extruder”<sup>16</sup> CraftBot 3 nyomtatóval végeztem. A fúvóka 0,8 mm-es volt, amely lehetővé tette, hogy viszonylag gyorsan elkészíthessem a tárgyakat. A gyártáshoz ugyanazon gyártó eltérő színű, de egyező minőségű filamentjeit<sup>17</sup> használtam fel.

Mivel szálhúzásos vagy szálolvasztásos (FDM<sup>18</sup>) rendszerű gyártást alkalmaztam, ezért ennek előnyeit, hátrányait és nyomtatóképességeit már a tervezés során figyelembe kellett vennem. Az eljárás sajátossága, hogy a tárgyasztalra merőleges és egy meghatározott hajlásszög felett álló felületeket csak alátámasztással képes elkészíteni. A tervezés már e támaszok optimális kialakítása mellett zajlott, mert ezek anyagfelhasználás és a végleges felület minősége szempontjaiból nagy hatással lehetnek. A támaszok kialakíthatók vízben oldható anyagból (PVA<sup>19</sup>) is, amely nagyban növeli a termék felületének minőségét, és eltávolítása ugyan egyszerű, de jelentős költséggel jár, ezért alkalmazását elvettem.

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

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

<sup>17</sup> Tekercselt alapanyagszál, amelyet a nyomtató megolvaszt.

<sup>18</sup> Angolul: fused deposition modelling.

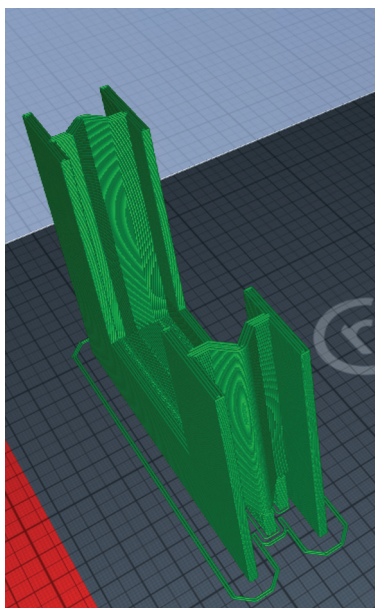
<sup>19</sup> Polivinil-alkohol.

1. táblázat: A nyomtatások idő- és anyagszükségei

Fsz.	Típus	Filament hossz (m)	Nyomatási idő (min)
1.	15-60-U50	46,7	314
2.	15-90-U50	38,9	258

Forrás: a szerző szerkesztése

A gyártás időszüksége az 1. táblázatban látható, amely a valóságban kismértékben nagyobbak bizonyult. A felhasznált filament becsült hosszát a CraftWare szoftver számította ki, amellyel a g-code<sup>20</sup> előállítását végeztem.



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

Forrás: a szerző szerkesztése

## A vizsgálat körülményei

A gyakorlati vizsgálatokat a Magyar Honvédség (MH) robbantási területén, Táborfalván végeztem el, amelyhez az MH 1. Tűzszerész és Folyamőr Ezred (MH 1. TFE) minden feltételt biztosított.

A robbantási feladat során villamos gyújtóhálózatot alkalmaztam, soros kapcsolásba rendezett villamos gyutacsokkal. Mivel a Semtex-H tulajdonságai kiválóan

<sup>20</sup> A nyomtató által feldolgozható adatokat tartalmazó fájltypus, amely a nyomtatás paramétereit hordozza.

alkalmasak a legyártott töltetek helyszíni feltöltéséhez és a kumulatív hatás hatékony kialakításához,<sup>21</sup> ezért erre a robbanóanyagra esett a választásom. Minden idomtöltetet egy fedlappal egészítettem ki, hogy a gyutacs központi elhelyezése, ezzel a detonáció optimális elindítása biztosítva legyen. A fedlap által vezetett helyzetben a gyutacsokat pontosan 10 mm-re helyeztem be a robbanóanyagba.



4. ábra: A 60°-os kumulatív idomtöltetek 50 mm-es „U” szelvény céltárgyakkal  
Forrás: a szerző felvétele

A robbantás során egy 150 cm mély árok aljában kialakított 30 x 30 x 30 cm-es ágyakban helyeztem el a céltárgyakat a rájuk rögzített töltetekkel. Ebben a formában a detonációk nem lehettek hatással egymásra. A biztonság – mint legfontosabb tényező a robbantási feladatoknál<sup>22</sup> – nem sérült. Repesz kiszóródást nem lehetett azonosítani a gyújtóhelyről és a helyszíni nyomokból sem.



5. ábra: A 90°-os kumulatív idomtöltetek 50 mm-es „U” szelvény céltárgyakkal  
Forrás: a szerző felvétele

<sup>21</sup> DARUKA 2016: 39; DARUKA–CSURGÓ 2017: 44–55.

<sup>22</sup> PADÁNYI 1994: 63.

A töltetek tömegét, feltöltöttségét külön-külön méréssel ellenőriztem, amely adatok a 2. táblázatban láthatók. A táblázat alapján azonosítható, hogy hajlásszögenként 3–3 db nyomtatott idomtöltet készült. Mivel egy típusú céltárgy volt a vizsgálat tárgya, amely melegen hengerelt, szabványos, 50 mm-es „U” szelvény volt (150 mm hosszúra darabolva), ezért a fenti adatokkal kombinálva összesen 6 db felrobbantandó töltetre volt szükségem. Mindegyikük (4. és 5. ábra) rövidítésekből álló elnevezést kapott, amely a vágóél belső szélességéből mm-ben (15 mm), a vágóél hajlási szögéből (60° vagy 90°) és a céltárgy típusából épült fel.

2. táblázat: A felrobbantott töltetek paramétereit

Fsz.	Típus	Töltetház tömege (g)	Robbanóanyag tömege (g)	Szerelt tömege (g)
1.	15–60–U50	121	179	300
2.	15–60–U50	121	179	300
3.	15–60–U50	120	178	298
4.	15–90–U50	99	141	240
5.	15–90–U50	100	143	243
6.	15–90–U50	100	142	242

Forrás: a szerző szerkesztése

A töltetházak tömegadatai szinte tökéletesen egyező képet adnak a feltöltés és a gyártás sikerességéről. Mindkét esetben egyaránt csupán 1–2 g-os eltérés jelentkezett. A robbanóanyagnál a tömeg akár a hatékonyságra is hatással lehet, de ez a szinte jelentéktelen eltérés nem befolyásolhatta számottevő módon az eredményeket.

A robbantás előkészítésének 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 töltetek behelyezése a robbantásra kialakított gödrökbe;
- a villamos gyutacsok behelyezése a töltetekbe.

## A vizsgálati eredmények

Az 1. töltettípus 15 mm-re nyitott vágóéllal rendelkezett és 60°-os hajlásszöggel készült. A céltárgyat 50 mm-es szabvány „U” szelvényből daraboltam. A robbantás eredményei a 6. ábrán láthatók.

Az első töltet teljes vágást eredményezett, a vágott felületen jelentős mértékben szakadásos képlet látható. A robbantott keresztmetszet torzult, összenyomódott. A céltárgy egyik fele nem került elő, mert a kialakított védmű beomló fala maga alá temette, de ez az eredményt nem kérdőjelezi meg.

A második töltet esetében is fellépett anyagtorzulás a robbantott keresztmetszetben. Az indított oldalon határozott vágás látható, a hosszú oldalon 24 x 13 mm-es lyuk alakult ki, és 6 mm-en valamelyest megmaradt az anyagfolytonosság, bár repedezett a felület. A hátsó oldalon szintén azonosítható a vágás, azonban 10 mm-en egyben maradt a céltárgy.

A harmadik céltárgy a másodikkal egyező módon torzult. Az indított fele teljesen elvált, a hosszú oldalon 22 x 10 mm-es lyukasztás tapasztalható, és 15 mm-en nem történt csak részleges vágás. A hátulsó oldal esetében egy 15 mm-es szakaszon anyagfolytonosság látható.



6. ábra: Az 1. töltettípus vágási eredményei

Forrás: a szerző felvétele

A 2. töltettípus 15 mm-re nyitott vágóélel és 90°-os hajlásszöggel készült. A céltárgyat itt is 50 mm-es szabvány „U” szelvényből daraboltam. A robbantás eredményei a 7. ábrán láthatók.

Az első és a második töltet képes volt a teljes vágásra, a vágott felületen meghatározó mértékben szakadásos képlet látható. A robbantott keresztmetszet súlyosan összenyomódott.

A harmadik céltárgy a robbantott keresztmetszetben összenyomódott. Az indított fele teljesen és szabályosan elvált. A hosszú oldalon 23 x 12 mm-es lyukasztás tapasztalható, elenyésző 3 mm-en részlegesen egyben maradt a két oldal. A hátulsó oldalon szintén nem vált szét egy 7 mm-es szakasz.



7. ábra: A 2. töltettípus vágási eredményei

Forrás: a szerző felvétele



## Összegzés

Elsősorban a tervezés és paramétermeghatározás során kalkulált adatokat szeretném összegezni. A 3 mm-es anyagvastagság megfelelőnek és hatékonynak bizonyult. A test kibírta a töltés erőhatásait, a béléstest pedig képes volt eredményes és hatékony vágást produkálni. A 30 mm-es bemeneti és a 10 mm-es kimeneti oldali túlnyúlás is teljesítette az elvártakat, a detonáció rendezetten ki tudott alakulni, ezzel megteremtve a vágás feltételeit a töltetben.

A 60°-os változat eredményesen szerepelt. Egy esetben teljesen elérte a célját, de a másik két céltárgy esetében is olyan jelentős volt a roncsolás, hogy azok alapfunkcióját egy tartószerkezetben minden kétséget kizáróan megszüntette volna a robbanás.

A 90°-os típus szerepelt hatékonyabban a teszteken, annak ellenére, hogy gyártási ideje (–18%), a felhasznált alapanyag (–17%) és robbanóanyag mennyisége (–21%) is kevesebb volt ezeknél a töltetknél. Két céltárgyat teljesen elváltak ezek a változatok, és a harmadik esetében is csak szinte jelentéktelen mennyiségben maradt meg az anyagkapcsolat.

Az kijelenthető, hogy ezek a 90°-os vágóélel készült idomtöltetek alkalmasabbak lehetnek tartószerkezetek elemeinek rombolására, mint a 60°-os változatok. Ennek minden kétséget kizáró eredményéhez és a késztermék optimalizációjához azonban még szükségesek lehetnek további vizsgálatok, robbantások. A bemutatott változat azonban ebben a formájában is alkalmas a céltárgy profiljából készült tartók megsemmisítésére.

További érdekes kutatási irány lehetne a nagyobb átmérőjű, hengeres alakú katonai eredetű robbanótetek<sup>23</sup> vagy akár improvizált robbanótetek<sup>24</sup> készítésekor felhasznált hadi alapanyagok esetében is megvizsgálni az alkalmazhatóságát az ilyen idomtölteteknek.

Érdekes és elgondolkodtató lenne mesterséges intelligencia (MI) és a 3D nyomtatás kombinált felhasználásának elemzése. Minkettő esetében folynak kutatások, amelyek a katonai alkalmazás lehetőségeit vizsgálják. A MI katonai alkalmazásának előnyeihez nem igazán férhet kétség,<sup>25</sup> de a 3D nyomtatás hozadéka a katonák<sup>26</sup> vagy akár a katonai felsőoktatás számára<sup>27</sup> egyaránt jelentős lehet a jövőben. A két terület fúziójának kutatását kifejezetten fontos vizsgálati iránynak tartom.

## 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>

<sup>23</sup> DARUKA 2014: 70–78.

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

<sup>25</sup> NÉMETH–VIRÁGH 2022: 21; FAZEKAS 2022: 51–52; TÓTH–VÉG 2022: 114.

<sup>26</sup> VÉGVÁRI–HEGEDŰS–ZENTAY 2022: 58–62.

<sup>27</sup> GYARMATI–HEGEDŰS–GÁVAY 2022: 125–126.

- ÁDÁM Balázs – EMBER István (2022b): Kumulatív töltetházak 3D nyomtatása. *Hadmérnök*, 17(3), 35–44. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2022.3.2>
- 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)
- CHANG et al. (2015): Numerical Simulation of Modified Low-Density Jet Penetrating Shell Charge. *International Journal of Simulation Modelling*, 14(3), 426–437. Online: [https://doi.org/10.2507/IJSIMM14\(3\)5.295](https://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), 26–44. 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: Zborník prednášok*. Banská Bystrica: Slovenská spoločnosť pre trhacie a vŕtacie práce, 44–55.
- DOIG, Alistair (1998): Some Metallurgical Aspects of Shaped Charge Liners. *Journal of Battlefield Technology*, 1(1), 1–3.
- 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> ; DOI: <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: Harkocsi-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 (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%<sup>o</sup>C5%91bb t%<sup>o</sup>C3%ADpusai-Kov%<sup>o</sup>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%20Z.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_IED_elleni_v%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 (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>
- LUKÁCS László (2017): *Szemelvények a magyar robbantástechnika fejlődéstörténetéből, Különös tekintettel a továbbfejlesztés várható irányaira és a kor új kihívásaira*. Budapest: Dialóg Campus.
- 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>
- 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>