

Célfeladatra készített kumulatív töltetek kialakításának vizsgálata

Bevezetés

A robbantástechnikában elengedhetetlen, hogy naprakész, a kor színvonalának megfelelő eszközöket és eljárásokat használjanak a szakemberek. Ez a különböző haderők kötelékében szolgáló, robbantással foglalkozó katonák esetében is elengedhetetlen. Tovább fokozhatja az igényt a lehető legjobb módszerekre, ha ezek a robbantással foglalkozó katonák mindezt robbanótetek hatástalanítása közben teszik.

A tűzszerész katonák életveszélyes hivatása tehát megfelelő indoka lehet a különböző fejlesztéseknek, amelyek magas színvonalú eszközöket eredményeznek. Ilyen eszközök alkalmazásával lehetőséget kapnak ezek a szakemberek, hogy biztonságosabban, hatékonyabban végezzék el a hatástalanítási és megsemmisítési feladataikat.

Mivel a Magyar Honvédség (MH) tűzszerészállománya a hazai közszolgálati feladatai mellett – amelyeket kormányrendelet szabályoz¹ – külföldön többnemzeti feladatok végrehajtásában is részt vehet, tevékenységük és alkalmazott eszközeik fejlesztése pedig több fontos kitűzött kutatási iránnyal is egybeeshet. Ezek mentén az országvédelem, a nemzetközi válságkezelés, a békefenntartás és a terrorizmus elleni harc egyes területeihez kapcsolódhat minden fent jelzett tevékenység.² Mindezek alátámasztják, hogy fontos foglalkozni ezekkel a kérdésekkel.

A 3D nyomtatás alkalmazása ezen a területen hordozhat előnyöket, és a korábbi eredmények is biztatók a hatékonyságukkal kapcsolatban.³ Éppen ezért ideje, hogy a hadi alkalmazás tekintetében levonjuk a megfelelő következtetéseket. Jelen tanulmányban az ilyen technológiával készült kumulatív töltetek – a robbanóanyag nélküli töltetházak és béléstestek – konkrét célfeladatra történő optimalizálásának elvi lehetőségeit vizsgálom meg. Mindezt azzal a feltételezéssel, hogy van létjogosultságuk az egyes feladatokhoz konkrétan hozzászabott tölteteknek a tűzszerész-szakfeladatok során.

¹ 142/1999. (IX. 8.) Korm. rendelet a tűzszerészeti mentesítési feladatok ellátásáról.

² Boda József et al.: A hadtudományi kutatási irányok, prioritások és témakörök. *Államtudományi Műhelytanulmányok*, (2016), 16. 1–23.

³ Phillip Mulligan et al.: 3D Printed Conical Shaped Charge Performance. In *Hypervelocity Impact Symposium. Conference Proceedings*. Destin (Fla.), (k. n.), 2019. 113–122.

A kumulatív töltetek felépítése és működése

Charles Edward Munroe nevéhez köthető egy robbanásfizikai jelenségnek a leírása, amelyet heurisztikus tudományos eredményként értelmezhetünk. Munroe-nak pusztán a véletlen folytán sikerült detektálnia, hogy a robbanóanyagban kialakított mélyedések felerősítik, koncentrálják a robbanás erejét egy meghatározott irányban. Eredményét majd fél évszázaddal később ő maga is tovább vizsgálta fém béléstest alkalmazásával, de a ma ismert kumulatív töltetek leírása és mélyreható elemzése M. Neumann és Egon von Neumann kutatók nevéhez fűződik.⁴

A II. világháború fegyverkezési versenye és a páncélozott harceszközök elterjedése olyan alapot biztosított a kumulatív töltetek fejlesztése számára, amely napjainkban is releváns. Alkalmazásuk a „páncélelhárítás” alapvető módszerévé vált, és a mai napig is találunk ilyen elven működő fegyvereket, robbanóttesteket.

A kumulatív töltetek részei, alkatelemei

A kumulatív töltetek főbb részei a következők:

- gyutacs,
- detonátor,
- robbanóanyag-töltet,
- töltetház,
- támasz,
- visszaáramlását,
- béléstest,
- inert lencse.

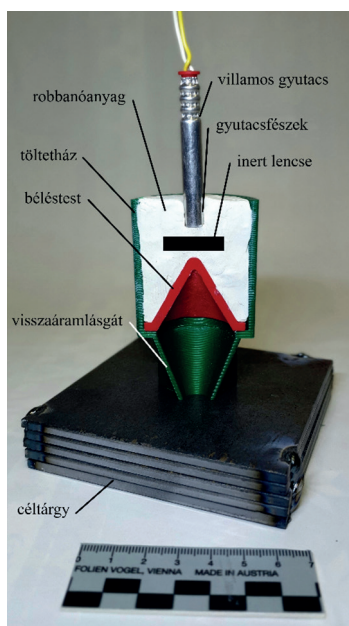
A gyújtási lánc első eleme a gyutacs. Az alkalmazás típusától függően szükséges megválasztani, de alapvetően az elektromos gyújtás az elterjedt. A gyutacs pozíciója fontos kérdés. Egyszerű összpontosított kumulatív töltetek esetében, amikor egy gyutaccsal történik az indítás, a gyutacs és a töltet forgástengelyének egybe kell esnie. A gyutacs behelyezési mélysége szintén meghatározó, hiszen legalább annyira bent kell lennie az indítani kívánt robbanóanyagban, hogy megfelelő energiát biztosítson a láncreakció kialakulásához, valamint hogy a robbanóanyagra jellemző detonációs sebesség is kialakuljon, mire a detonáció frontja eléri a béléstestet. Detonátor alkalmazására nem minden esetben van szükség, alapvetően ez a gyárilag készre szerelt változatokban lehet indokolt, elsősorban akkor, ha a fő töltetként alkalmazott robbanóanyag nem gyutacs-érzékeny⁵ típus.

⁴ Lukács László: A kumulatív töltetek és gyakorlati alkalmazásuk. *Műszaki Katonai Közlöny*, 20. (2010), 1–4. 175–196., különösen 178–179.

⁵ Például: öntött trinitro-toluol.

Az alkalmazott robbanóanyagok széles tárházából lehet meríteni ilyen töltetek kialakításakor, azonban a felhasználásra történő elkészítés helye determinálja a lehetőségeket. A helyszínen elkészíthető változat esetében a plastikus robbanóanyagok⁶ lehetnek a megfelelőek, de számításba jöhetnek folyékony halmazállapotú robbanóanyagok is, amelyek a töltetházat nagy bizonyossággal résmentesen kitöltik. Az ipari változatok esetében az önthető és préselhető robbanóanyagok egyaránt megfelelők lehetnek, ha hadi minőségben készülnek.

A töltetház tekintetében meghatározó szempont annak anyaga. Az ipari gyártástechnológia vagy egyéb felhasználási feltételek megkövetelhetik, hogy fémből készüljön. Ez esetben repeszek keletkeznek a robbantáskor, amivel számolni kell a biztonsági távolságok meghatározásakor. A műanyag töltetházak ebből a szempontból jóval kisebb problémát jelentenek, repeszképződésük elenyésző a fémekhez képest, és 3D nyomtató segítségével könnyen kialakíthatók. A töltetházhoz kapcsolódhat egy fordított tölcser, amely visszaáramlásgátként funkcionál. Ez az alkatelem segíti, hogy a kialakult kumulatív sugár céltárgyba ütközésekor visszaverődő anyag és energia ne rontsa a töltet hatékonyságát.



1. ábra: Kumulatív töltet metszete

Forrás: a szerző szerkesztése

A töltetházhoz kapcsolódó másik alkatelem lehet a támasz, amely stabilitást biztosít a töltetnek, de egyben lehet szerepe az ideális fókusz távolság meghatározásában is.

⁶ Például: C4, Semtex-H, plastikus nitropenta (PLNP) stb.

Ez utóbbi elengedhetetlen tényező, amelyet a béléstest anyaga és alakja alapján érdemes meghatározni.

A béléstest az az alkatelem, amelynek roncsolódása révén kialakul a kumulatív sugár, és létrejön az akár páncélozott járműveket harcképtelenné tevő penetrációs képesség. Forma és anyag tekintetében széles spektrum áll rendelkezésre a különböző robbanótestekből, de a kúp formát és a rezet tekinthetjük széles körben elterjedt változatnak.

Szót kell ejteni az inert lencséről, amelynek jelentős szerepe lehet a kumulatív sugár kialakulásában. Ez az alkatelem ideális pozicionálás esetén úgy alakítja a fő töltetben végbemenő heves kémiai átalakulás irányát, hogy az viszonylag egyszerre érjen el a béléstesthez és kezdje meg annak roncsolását, formázását. Az inert lencse fontos eleme a kumulatív tölteteknek, de pontos elhelyezése nagy szakértelmet igényel, ezért alapvetően az ipari körülmények között gyártott töltetek esetén vehető számításba.

A fenti alkatrészek pozíciójának szinte minden esetben nagy jelentősége van, ezért adja magát a kérdés, hogy melyek azok a méretbeli tényezők, amelyek meghatározhatják az összpontosított kumulatív töltetek hatékonyságát vagy akár működésképesességét.

A töltet átmérője egy ilyen szempont, amelyet alapvetően a béléstest átmérője, az esetleges robbanóanyag-réteg és a töltetház vastagsága határoz meg. A következő a fókusz távolság, amely egyes töltetek esetében a visszaáramlás gáttal megegyező lehet méretben, egyéb esetben pedig a támasszal szabályozható, amely a pontos célzásban is segítség lehet. A töltet belseje tekintetében fontos adat a béléstest és az inert lencse közötti távolság, valamint az utóbbi alkatelem és a gyutacs vagy detonátor közötti távolság. Ha inert lencsével nem számolunk, akkor a béléstest és a gyutacs vagy detonátor között szükséges az ideális távolságot kialakítani.

A kumulatív hatás elmélete

A fent említett kumulatív hatás, amelynek azonosításához a véletlen vezetett, manapság már sok szempontból vizsgált, azonban egyes vetületei még pontos magyarázatra szorulnak. Ez utóbbi állítás egyébként a robbanásfizikára is igaz nagy általánosságban. Nem véletlen, hogy a szakemberek sok esetben a gyakorlati tapasztalataik segítségével tudnak eredményeket felmutatni.

Azt azonban mindenképpen kijelenthetjük, hogy ideális esetben egy kumulatív töltet hatékonyságának első feltétele a gyújtási lánc megfelelő működése. Amennyiben az alkalmazott gyutacs képes elegendő és megfelelő mennyiségű energiát átadni az őt körülvevő robbanóanyagnak, akkor kialakul a robbanáshoz elengedhetetlen láncreakció. Amennyiben a gyutacs detonátorban van elhelyezve, akkor a fenti feltételnek a detonátor teljesítményére is igaznak kell lennie a fő töltet indításához.

Feltételezve a sikeres és megfelelő gyújtást, felmerül a jelentősége a tölteten belüli távolságoknak, főleg a béléstest és a detonátor közötti robbanóanyag magasságának. A láncreakciónak úgy kell elérnie a béléstestet, hogy abban már kialakuljon az adott robbanóanyagra jellemző detonációs sebesség. Ennek hiányban a töltet hatékonysága nem lesz megfelelő. Ez természetesen függ az alkalmazott robbanóanyagtól, de akár

a gyutacs belső kialakítása is befolyásolhatja. A folyamat optimalizálható inert anyagokkal, úgynevezett lencsékkel, amelyek a béléstest és a gyutacs között helyezkednek el, falként funkcionálva. A robbanásnak ebben az esetben meg kell kerülnie ezt az inert betétet, s így elérhető, hogy a béléstest tetejét és alját közel egy időben kezdje el roncsolni, átalakítani a robbanás.

Ez a folyamat tehát valamilyen módon – optimalizálva vagy sem – eléri a béléstestet, és elkezd kialakítani belőle a kumulatív sugarat, amely egy becsapódó lövedékhez hasonlóan képes komoly penetráció létrehozására, akár páncéllemezek esetében is. A kialakult sugár eleje és vége között jelentős a sebességkülönbség. A hegye képes elérni a 10 000 m/s-ot, míg a mag sebessége a 2000–5000 m/s tartományban alakul.⁷ Ennek köszönhetően a sugár tű formában elnyúlik, és az ideálisnak tekinthető hossz elérése után felszakadozik kisebb, egymást követő lövedékekre. Ennek a maximális sebességbeli hatalmas különbségnek az az alapja, hogy a mag tömege sokkal nagyobb, nem tud megfelelően felgyorsulni, pedig az előbb említett elvi hossz nagy jelentőségű. Az elvi hossz növekedése a kumulatív sugarak esetében egyenes arányosságban van a penetrációs képességgel.

A béléstest roncsolt alakja, a kumulatív sugár tehát a megformázódását követően extrém magas nyomás és hőmérséklet kíséretében, hatalmas sebességgel éri el a céltárgyat. Ez az összetett helyzet egy furcsának nevezhető fizikai jelenséghez vezet a céltárgy deformálásánál: Amikor találkoznak egymással, a folyamatot nem szilárd anyagokra vonatkoztatott fizikai számításokkal írhatjuk le, hanem ideális folyadékok egymásra hatásaként. Az összenyomhatatlan folyadékok esetében hidrodinamikai egyenletek alkalmazhatók megfelelően.⁸

Sok esetben még a robbantásban járatos szakemberekben is vannak ezzel kapcsolatban tévhitek. Előfordul, hogy plazmaként emlegetik a kumulatív sugárban lévő anyagot, pedig annak hőmérséklete meg sem közelíti a plazmaállapotét. Vannak feltételezések, amelyek a fémfolytatásos eljárásokkal vonnak párhozamot, de a hőmérséklet ebben az esetben sem azonos az adott fajtájú olvadt fémre jellemzővel.

A fentiekre reagálva a rézből formált kumulatív sugár hőmérséklete például 450 °C, amely a két említett állapot, hőmérséklet-tartomány között található. Mindezeket túl pedig ez a hőmérséklet azt is igazolja, hogy ez a sugár nem lehet folyadék,⁹ mert a réz olvadáshője 1083 °C. Ezekből azt adatokból azt láthatjuk, hogy az anyagsugár megközelítőleg folyadékként viselkedik, de jelenleg szilárdnak ismerjük. Egyes elméletek szerint ez azért lehetséges, mert csak a felülete szilárd, a belseje pedig olvadék. Ez utóbbi állításnak sem igazolásával, sem cáfolatával nem találkoztam a szakirodalomban.¹⁰

⁷ Alistair Doig: Some Metallurgical Aspects of Shaped Charge Liners. *Journal of Battlefield Technology*, 1. (1998), 1. 1–3., különösen 1.; Hatala András: Üreges töltetek. I. rész. *Haditechnika*, 44. (2010), 2. 72–76., különösen 72.

⁸ Lukács (2010): i. m. 185.

⁹ Ez a feltételezés röntgenes vizsgálattal is igazoltást nyert.

¹⁰ Doig (1998): i. m. 1.

A célfeladatra készített kumulatív töltetek meghatározó paraméterei

A különböző hatástalanítási, megsemmisítési tevékenységek során rengetegféle robbanótestet kell hatástalanítani a tűzszerész szakembereknek. Ez a tevékenység megköveteli, hogy naprakész, a kor színvonalának megfelelő eszközöket és eljárásokat alkalmazzanak, és ezen a területen nem érdemes belenyugodni a bevált módszerek alkalmazásába, mert a hatástalanítandó eszközök – különösen azok mechanikus alkatrészei – és a robbanóanyag-töltet képes jelentősen megváltozni.

A mechanikus alkatrészek korróziója egyrésztől működésképtelenné teheti a mozgó alkatrészeket, de ez hamis biztonságérzetet adhat, ami két okból is problémás. Egyrészt nem minden esetben következik be jelentős korrózió, mert a II. világháborúban alkalmazott robbanótestek esetében sem ritka, hogy a gyújtószerkezetük eltávolításakor „szisszenő” hang hallatszik, amely a korábbi légcserementes állapot megszűnését jelzi. Másrészt a korrózió a belső biztosító alkatrészeket is roncsolhatja, amelyek nélkül egy adott típus kezelésbiztosság szempontjából akár veszélyesebb is lehet.

A mechanikus alkatrészek és a korrózió mellett a másik fontos, veszélyességet befolyásoló tényező a robbanóanyag-töltet. Ezek a vegyületek vagy keverékek képesek az évtizedek alatt reakcióba lépni a környezetükben található anyagokkal. Ez ebben az esetben akár előnyös is lehet a biztonság szempontjából. Sérült robbanótestben például akár a napsugárzás hatására is beindulhat a robbanóanyag bomlása,¹¹ ami évtizedek távlatában jelentősen csökkentheti annak hatékonyságát. A környezetben más tényezők is akadnak, amelyek elősegítik ugyanezt a bomlási folyamatot. Ilyen lehet például néhány talajbaktérium, amely képes egyes robbanóanyagok lebontására,¹² de gombát is azonosítottak már a kutatók¹³ ilyen képességgel.

A szabadon vagy részlegesen szabadon lévő robbanóanyag esetében azonban a fentiek szöges ellentéte is bekövetkezhet. Mindazok mellett, hogy nem kizárólag a felrobbanásuk lehet egészségromboló¹⁴ hatású,¹⁵ a környezetre¹⁶ nézve is eleve mérgezők lehetnek, miközben bizonyos környezeti hatások jelentősen érzékenyítik a robbanóanyagokat. Ilyen folyamat lehet, amikor a trinitro-toluol¹⁷ acél jelenlétében lúgos környezetbe kerül. Ez egy robbanótest esetében, amely a talajban rejtőzik több mint hét évtizede, nem

¹¹ Fotokémiai átalakulás.

¹² Farrukh Ahmad – Joseph B. Hughes: Anaerobic Transformation of TNT by Clostridium. In Jim C. Spain – Joseph B. Hughes – Hans-Joachim Knackmuss (szerk.): *Biodegradation of Nitroaromatic Compounds and Explosives*. Boca Raton, CRC Press, 2000. 185–212.

¹³ Wolfgang Fritsche et al.: Fungal Degradation of Explosives: TNT and Related Nitroaromatic Compounds. In Jim C. Spain – Joseph B. Hughes – Hans-Joachim Knackmuss (szerk.): *Biodegradation of Nitroaromatic Compounds and Explosives*. Boca Raton, CRC Press, 2000. 213–238.

¹⁴ Az elsődleges pusztító hatásokat nem idesorolva ilyenek lehetnek: a hőmérséklet, a nyomás, a hang stb.

¹⁵ Hernád Mária – Kugyela Lóránd: Risk of Carbon Monoxid Intoxication in Explosions. *Hadmérnök*, 8. (2012), 2. 56–64.

¹⁶ Mark S. Johnson – Christopher J. Salice: Toxicity of Energetic Compounds to Wildlife Species. In Geoffrey I. Sunahara et al. (szerk.): *Ecotoxicology of Explosives*. Boca Raton, CRC Press, 2009. 157–175.

¹⁷ Más néven trotil (TNT).

elképzelhetetlen szituáció. Ilyenkor olyan fémkomplex-vegyületek¹⁸ keletkeznek, amelyek érzékenysége megegyezik az iniciáló robbanóanyagokéval, ami pedig kifejezetten életveszélyes helyzetet teremt. Ez ráadásul csak egy lehetséges folyamat a sok közül, amelyek ilyen eredményt hozhatnak.¹⁹

Ezek azok a tényezők, amelyeknek köszönhetően fontossá válik a vizsgált kérdés. Mivel a robbanótestek mechanikailag és vegyi szempontból is képesek veszélyesebbé válni, fontos időszakosan felülvizsgálni a bevett gyakorlatot és újabb módszerekkel, eszközökkel növelni a biztonságot. Ebben a kockázatcsökkentő eljárásban jelentős szerep juthat a modern eszközöknek is, amelyekkel valóban egy konkrét típushoz optimálisan kialakított „célszerszámot” alkalmazunk. Nyilván ez nem lehetséges minden esetben, de törekedhetünk rá a fenti érdekek mentén.

A 3D nyomtatóknak jelentős szerepe lehet olyan robbantástechnikai eszközök létrehozásában, amelyek a különféle hatástalanítási, megsemmisítési tevékenységeket biztonságosabbá tehetik. A kutatás szempontjából általában a prototípusgyártás alapeszközének gondolják őket, de valójában a viszonylag kis darabszámú vagy egyedi szériás alkatrész tartós gyártásának is megfelelő eszköze lehet. A kumulatív töltetek esetében a piacon beszerezhető változatok általában széles spektrumon alkalmazhatók, de ma ez már nem mindig jelenti a legjobb választást. Ami sok mindenhez jó, az ritkán megfelelő egy konkrét dologhoz professzionális szinten. Viszont egy előre elkészített elektronikus tervrajzgyűjtemény nem foglal helyet, és segítségével egy adott robbanótesthez pontosan illeszkedő kumulatív töltetet készíthetünk, amely megfeleltet a katonai elvárásoknak is. Nem utolsó szempont, hogy nincs szükség készletek felhalmozására, azonban néhány hátránnyal is számolni kell. A technikai eszközök kezelése némi szakértelemet kíván, de a tervezés ennek nem része, valamint nem lehetséges százas nagyságrendben gyártani az eszközöket. Ez utóbbi nagyban függ az alkalmazott típustól és azok daraszámától, valamint a nyomtatott tárgy alapanyagától, méretétől.

A fentiek alapján elgondolásom igazolására a robbanóanyag-töltet, a béléstest és a töltetház fő paramétereit vizsgálom meg az alábbiakban.

A robbanóanyag-töltet

A kumulatív töltetek kialakításakor, tervezésekor az egyik legmeghatározóbb kérdés a robbanóanyag kiválasztása, de a hadi alkalmazás ezt is determinálhatja. Az alkalmazott típus valamilyen brizáns robbanóanyag lehet. Ilyen katonai robbanóanyagok alapvetően, de nem kizárólag a TNT, a hexogén,²⁰ a tetril,²¹ a nitropenta²² és egyéb különböző

¹⁸ Meisenheimer-komplex: vegyületek és részecskék keveréke, amely elektront felvevő aromás szénhidrogénláncok és elektront biztosító részecskék reakciójakor alakul ki.

¹⁹ J. J. Orlova: *Brizáns robbanóanyagok kémiája és technológiája*. Budapest, Műszaki, 1986. 89.

²⁰ Ciklo-trimetilén-triinitramin (RDX).

²¹ Trinitro-fenilmetilnitramin.

²² Penteritrit-tetranitrát (PETN).

keverékek.²³ A keverékek esetében fontos megemlíteni, hogy napjainkban bevett gyakorlat a robbanóanyagok több komponensből történő készítése.²⁴ Természetesen eltérő halmazállapotú változatok alkalmazása is lehetséges, de a hadseregekben széles körben a plasztikus robbanóanyagokat részesítik előnyben, tanulmányom ennek megfelelően ez utóbbi típusra összpontosít.

A plasztikus robbanóanyagokból több, erre a célra alkalmas típus létezik. Mivel ezek esetében az alapanyagok szintén főként brizáns robbanóanyagok, a hatékonyságukhoz kétség sem fér.

Elsőként a Semtex különféle változatait vizsgálom. Ez a cseh gyártmányú robbanóanyag alapvetően több altípusból áll.²⁵ A keverékek alapjai azonban meghatározóan a PETN és az RDX. Mindkét robbanóanyag önállóan is hatékony, keverékben pedig kifejezetten az. Természetesen különböző adalékokat és plasztifikátorokat is adagolnak hozzájuk, hogy megfeleljenek a katonai felhasználás követelményeinek, valamint kialakuljon a gyurmaszerű állag. Ez utóbbi teremti meg a katonai műszaki alkalmazáshoz elvárható képességeit. Előfordulhat más inert²⁶ adalék is. Ilyen lehet például az alumíniumpor,²⁷ amely a robbanóanyag robbanáshője szempontjából előnyös. Ezzel a típussal már korábban lehetőségem nyílt a kumulatív töltetek vizsgálatára,²⁸ alkalmasságához az érintett területen nem férhet kétség.

A béléstest

A béléstest tekintetében több szempont mentén lehetséges az adott feladathoz szükséges típust kialakítani. Ezek a következők: anyag, forma, anyagvastagság.

Az anyag megválasztásnál elsődleges szempont, hogy valamilyen nagy sűrűségű fémeket alkalmazzunk. Ez a páncéelhárító lövedékek kumulatív tölteténél különösen fontos, hiszen ott a maximális átütési hatás az elérendő cél. Egyes robbanásoknál azonban előnyös lehet, ha az adott töltet teljesítménye csupán egy meghatározott átütéstartományban, azaz szabályozottan működik. Ilyen típusú feladatok lehetnek a tűzszerészeti szakfeladatok, hiszen egy robbanótest falának átütését követően kifejezetten előnyös, ha nem marad hatalmas potenciál a kialakult kumulatív sugárban, különben a kumulatív sugár esetleg elérheti a detonátort, vagy egyszerűen a fő robbanóanyag-töltetnek közvetít akkora energiát, hogy nem várt robbanás következik be. Ebből a példából jól látszik, hogy indokolt alternatív megoldások vagy optimalizált méretek alkalmazása.

²³ Lukács László: *Szemelvények a magyar robbantástechnika fejlődéstörténetéből. Különös tekintettel a továbbfejlesztés várható irányaira és a kor új kihívásaira.* Budapest, Dialóg Campus, 2017. 26. 1. ábra.

²⁴ Kugyela Lóránd: A többkomponensű robbanóanyagok múltja, jelene és jövője. *Katonai Logisztika*, 28. (2020), 4. 58–75.

²⁵ Például: Semtex-H, Semtex-1A stb.; bővebben lásd Explosia: Explosives. *Explosia.cz.* (2017. január 1.).

²⁶ Inert adalék: nem robbanásképes robbanóanyag-gyártási alapanyag, amely hatással van a robbanás paramétereire.

²⁷ Semtex PL-HX-30.

²⁸ Ember István: Alternatíva a tűzszerészeti szakfeladatok során alkalmazható kumulatív töltetekre. *Sereg-szemle*, 14. (2016), 3–4. 50–63., különösen 56.

A fémek béléstestként történő alkalmazása a legtöbb esetben elegendő energiával rendelkező kumulatív sugarat eredményez az egyes céltárgyak²⁹ belsejében lévő robbanóanyagok elműködtetéséhez.³⁰ Érdemes tehát megvizsgálni olyan lehetséges béléstest-alapanyagokat, mint például a műanyagok és kompozitok.

A nemfém béléstestek egyik lehetséges felhasználási területe éppen a páncélozott célok elhárításához köthető. Az olyan katonai járművek esetén, amelyek a vastag páncélréteg fölött rendelkeznek úgynevezett reaktív³¹ védelemmel is,³² a leghatékonyabb átütést, kvázi megsemmisítést vagy harcképtelenné tételt tandemtöltetekkel felszerelt robbanótestekkel lehet elérni. Az ilyen eszközökben két kumulatív töltet található: az első feladata a reaktív réteg leküzdése, a második pedig már a páncéltesten képes kifejteni pusztító hatását. A közelmúltban is folytak kutatások ilyen anyagok vonatkozásában,³³ azonban más lényeges szempontokat is figyelembe lehet venni.

Kompozitok tekintetében nem csak a különböző fémek esetében lehetséges előnyös kombinációkat összeállítani egy-egy béléstest kialakításakor. A fémek és műanyagok szintén képesek együtt hatékony kumulatív sugarat formázni. Ez utóbbira példa lehet a politetrafluoretén (PTFE), amelyet alumíniummal dúsítva hatékony kompozitanyagot kapunk.³⁴

Az anyagokon túl a forma is meghatározó szempont lehet. Kialakítható szinte bármilyen geometriai forma, de a következők a leggyakoribbak kumulatív töltetekben: félgömb, gömbszelet, kúp, dupla kúpos és trombita forma. Minden forma rendelkezik előnyökkel és hátrányokkal. A leginkább elterjedt mégis a kúp, bár a kúpszög esetében szintén széles választékban gondolkodhatunk. A dupla kúp esetében két eltérő átmérőjű és magasságú kúp palástjának egy-egy része formázza meg a béléstestet. A trombita forma értelmezhető ez utóbbi változat lekerekített módosításaként, de akár önálló típusként is.

A következő vizsgálandó terület a béléstest anyagvastagsága, amely lehet homogén vagy változó. Előbbi esetben minden részén egyforma vastagságú a béléstest, változó vastagság esetén pedig a vastagodás a csúcstól növekszik a béléstest alja felé. Ez a kialakítás optimalizált esetben képes kiegyenlíteni a kumulatív sugár magja és hegye közötti súlykülönbséget, ami növeli az elvileg kialakuló maximális sugár hosszát, azaz a penetrációt.

Ez utóbbi célból tesztelésre érdemes lehet az olyan kompozit béléstest, amelynek alsó fele nehezebb, míg felső fele könnyebb anyagból készül. Elvi szinten ez is képes lehet

²⁹ Ezek különböző robbanótestek is lehetnek.

³⁰ Artur Steckiewicz – Waldemar A. Trzeciński: *Investigation of the Reaction of Energetic Materials on Jet Impact*. A 17. New Trends in Research of Energetic Materials nemzetközi szemináriumra készült tanulmány. Pardubice, University of Pardubice, 2014. 1038–1049.

³¹ Kiegészítő védelmi modul a harcjármű páncélzata felett, amely robbanóanyagot tartalmaz. Amennyiben egy kumulatív sugár áthalad rajta, a robbanóanyag detonál, és ezzel – valamint a modulban található többi anyag hatásaival együtt – megakadályozza a kumulatív sugarat a páncélzat átütésében, vagy csökkenti annak hatékonyságát.

³² Angolul: Explosive Reactive Armour (ERA).

³³ B. H. Chang et al.: Numerical Simulation of Modified Low-Density Jet Penetrating Shell Charge. *International Journal of Simulation Modelling*, 14. (2015), 3. 426–437.

³⁴ Jianya Yi et al.: Simulation Study on Expansive Jet Formation Characteristics of Polymer Liner. *Materials*, 12. (2019), 5. 744. 1.

a maximális kumulatív sugár hosszának növelésére, bár e feltételezés igazolása további vizsgálatokat igényel.

A töltetház

A töltetház esetében sokszor felmerül a kérdés, hogy kialakításának lehet-e hatása a kumulatív töltet hatékonyságára. Alapvetően igen a válasz, de ehhez olyan töltetházra van szükség, amely képes a robbanóanyag-töltetben felfutó detonációnak valamelyest ellenállni, és az energiákat szétáramlás helyett ideális irányba terelni. Értelemszerűen ezek nem megvalósítható szempontok a gyakorlati munkák során. Nyilvánvaló, hogy az alacsonyabb sűrűségű anyagból vagy vékonyabb fémről készült töltetházaknak is van ilyen hatásuk, de véleményem szerint ennek mértéke nem akkora, hogy a fémborítás repeszhatását kompenzálja.

A hengeres forma egyszerű, és olyan testet eredményez, amelyet a szakemberek a robbantás helyszínén is megtölthetnek robbanóanyaggal. Azok a formák, amelyeknek a teteje csapott, főként ipari körülmények között elkészíthetők, vagy folyékony halmozállapotú robbanóanyag esetén az alkalmazás helyszínén. Ez utóbbi ritkának nevezhető a hadi alkalmazások tekintetében, de érdemes lehet számításba venni mint alternatívát.

A töltetház falvastagsága esetében főleg a gyártástechnológiai lehetőségek a mérvadók. Más követelményei lehetnek egy olyan változatnak, amelynél a robbanóanyagot közvetlenül a töltetházba préselik, mint annak, amelybe előre legyártott préstestet helyeznek bele. A helyszínen elkészített töltetek esetében szintén fontos szempont ez a paraméter, mert plasztikus robbanóanyag esetében a töltetháznak ki kell bírnia sérülés, deformálódás nélkül a kézi töltés erőhatásait.

További alapvető elvárás, hogy az alkalmazott anyag ne lépjen vagy ne tudjon reakcióba lépni a robbanóanyaggal, nem várt kémiai átalakulást okozva. Ez alapvetően az ipari körülmények között előállított, akár huzamos ideig tárolt tölteteknél lehet szempont. A helyszínen véglegesre szerelt változatok esetében a töltés és a felhasználás között eltelt rövid idő miatt ilyen kémiai jellegű átalakulás nem tud lezajlani. Van azonban itt is egy fontos körülmény, amelyet vizsgálni kell. Olyan összeférhetetlenséget is ki kell zárni, amely az alkalmazott robbanóanyag és a töltetház gyors kémiai reakcióját eredményezheti. Ilyen lehet például egy erős oldószeradalék, amely gyakorlatilag azonnal látható felületi elváltozást okoz a töltetházon vagy az alacsony sűrűségű béléstesten. Ez plasztikus robbanóanyagoknál, főleg a katonai változatoknál nem lehet probléma, de folyékony főtöltet esetén már érdemes vizsgálni. Ilyenkor javasolt lehet olyan műanyagokat választani alapanyagnak, amelyek ellenállnak a vegyszeres oldásnak, mint például a fentebb említett PTFE.

A töltetház vonatkozásában meg kell említeni a visszaáramlását jelentőségét. Ez főleg azoknál a típusoknál lehet eredményes, amelyekben a céltárgy nagyon közel van a töltethez. Ilyenkor ez a fordított, üreges csonka kúp segítheti a céltárgyról az anyagvisszaverődés elvezetését, és növelheti a kumulatív sugár hatékonyságát. Ez döntő szempont lehet az alacsony sűrűségű töltetek esetében, mert itt jelentősen csökken a hatékony

fókusz távolság. Fém béléstestek alkalmazásakor az eltartás már jelentős lehet, és a céltárgytól távolinak tekinthető töltetnél az anyagvisszaverődés mint probléma már nem annyira számottevő. Amennyiben a visszaáramlását rendelkezésünkre áll, gyakorlatilag a fókusz távolság kialakításával már nem is kell különösebben foglalkozni az alkalmazás során. Egyéb esetben szükség van valamilyen támaszra vagy lábakra, amelyek segítenek az előbb említett távolság kialakításában. Ez utóbbi esetben természetesen a pontos célzás előkészítése nehézkes lehet, ami például a tűzszerészeti feladatoknál elengedhetetlen követelmény. Akár nem várt robbanást is okozhat egy rosszul pozicionált kumulatív töltet felrobbantása.

A töltetház tetejének vagy kupakjának olyan kialakítással kell rendelkeznie, amely segíti a gyutacs pozicionálását, és a gyújtás és a robbanás folyamatának ideális kialakítsa érdekében középső helyzetben tartja azt. Ez meghatározó szempont a kumulatív béléstest elvárt deformációjával kapcsolatban. A fenti ideális pozíció hiánya a kumulatív sugár hatékonyságának csökkenését eredményezheti, mert annak formája nem alakul ki az elvárások szerint.

Tűzszerészeti célfeladatokhoz optimalizált kumulatív töltet

Kutatásom során a költségek minimalizálását és a rugalmas elkészítést alapvető szempontnak tartottam, ezért az ipari körülmények között készült változatok vizsgálatát mellőztem. Létezhetnek olyan ipari minőségű töltetek, amelyek valamelyest megfelelnek a katonai felhasználás követelményeinek, de az alább bemutatott elgondolás nagyban csökkentheti a beszerzési függőséget is.

A fenti két alapvetés megvalósítása érdekében a napjainkban gyorsan terjedő 3D nyomtatást találok megfelelő megoldásnak. Mivel elsősorban hadi alkalmazásról beszélünk, felmerül a kérdés, hogy mekkora felkészültséget igényel egy 3D technológiával készült töltetházbéléstest prototípusának megtervezése és kinyomtatása. Jogos szempont, hogy a tűzszerészeknek ne kelljen jártasnak lenniük a tervezőszoftver alkalmazásában, csupán a tervek kész gyűjteményéből kelljen a megfelelőt kiválasztaniuk. A tervezésbe fektetett energia is egyszerű, ráadásul az egyes töltetek optimalizálása sem igényel jelentős többletmunkát, hiszen a meglévő tervrajzokat kell kissé átalakítani.

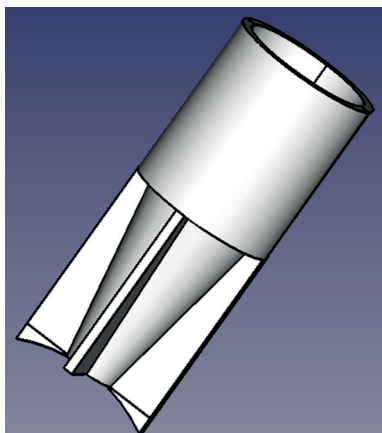
Ugyan a 3D nyomtatás főként a prototípusgyártást segíti elő, előfordulhat, hogy annyira kis szériában szükséges az adott tárgy, hogy egyszerűen nem éri meg ipari körülmények között előállítani. Ez a megoldás az ilyen problémákat is áthidalja.

Mivel tehát a 3D nyomtatás módszerét alkalmazva rugalmasan állíthatók elő a kumulatív töltetek, a legegyszerűbb alapanyagoknak a műanyagokat tekinthetjük, vagy a 3D nyomtatás legfőbb alapanyagát, a politejsavat (PLA). Ez a könnyen bomló anyag a legtöbb, olcsóbb árkategóriájú 3D nyomtatóval kompatibilis, és rengeteg nyomtatási tapasztalat található a világhálón hozzá. Ezeket az alapanyagokat viszonylag egyszerű beszerezni, és a különlegesebb fajtákat leszámítva áruk sem jelentős. Ez utóbbi információ természetesen szubjektív, de a piaci árképzés széles skálán mozog, ezért konkrét példa bemutatását mellőzöm tanulmányomban.

Mivel a fémek nyomtatása még nem nevezhető hétköznapiinak, a béléstest is alacsony sűrűségű anyagból készülhet, ami jelentős előnyökkel jár. A töltetház ilyen esetben visszáramlásgáttal szerelhető, amely megkönnyíti a célzást és a megfelelő eltartás kialakítását. Ez utóbbiak pedig jelentősen megkönnyítik a harctéri alkalmazást, különösen akkor, ha a kialakítás további előnyöket hordoz.

Mivel katonai eszközök tekintetében helyszíni töltésre jelenleg kizárólag a plasztikus robbanóanyagok alkalmasak, a robbanóanyag és a gyújtószer kérdése is vitán felül áll. Ezek a plasztikus robbanóanyagok kellően brizánsak, de teljesítményük valamelyest eltérhet, amit a béléstest kialakításánál (átmérő, vastagság, kúpszög) figyelembe kell venni. Ilyen esetben javasolható túlméretezési biztosíték beépítése a méretezésbe.

A céltárgy vonatkozásában ezek a töltetek optimalizálhatók lehetnek a szakemberek számára. Ez annyit jelent, hogy például egy hagyományos, vegyi harcanyaggal töltött robbanótest esetén – ABV tűzszerészeti feladatok³⁵ keretében – lehetséges olyan töltetházat nyomtatni, amely az alkalmazás függvényében vegyszerálló, és kialakítása pontos illeszkedést tesz lehetővé az adott robbanótesthez. Ilyen esetben a fémfelületet megtisztítva és a kumulatív töltet helyét pontosan meghatározva lehet végrehajtani a teljes vagy részleges hatástalanítást. A töltet rögzítése a fémfelületre ilyen esetben akár pillanatragasztó segítségével is megtörténhet.

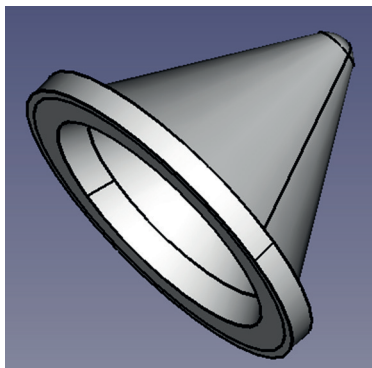


2. ábra: Kumulatív töltetház 10,5 cm-es tűzérési gránátokhoz

Forrás: a szerző szerkesztése (a tervezéshez alkalmazott szoftver: FreeCAD 0.19 verzió)

Hasonló a helyzet a béléstestek vonatkozásában is, hiszen az operátor választhat akár több forma és anyag közül a robbanótest és az elvárt eredmény függvényében.

³⁵ Lásd Berek Tamás: ABV (CBRN) tűzszerészecsoport mint a biztonsági kihívásokra adott válaszlépés. *Bolyai Szemle*, 25. (2016), 4. 22–34. ABV: atom-, biológiai és vegyi fegyverek; ugyanez angol betűszóval a CBRN (chemical, biological, radiological, nuclear).



3. ábra: 30 mm belső átmérőjű, kúp alakú béléstartó

Forrás: a szerző szerkesztése (a tervezéshez alkalmazott szoftver: FreeCAD 0.19 verzió)

Az improvizált robbanótestek (IED) igen sokfélék lehetnek.³⁶ A terrorizmus mint sohasem szunnyadó veszélyforrás folyamatosan jelen van a világon,³⁷ és a merénylők alapvető eszköze, a pokolgépnek is nevezett robbanóeszközök rettenetes pusztítása emberek ezreinek életét veszélyeztetik nap mint nap. Ezt a jelenséget méltán nevezhetjük meghatározónak a 21. század eddig eltelt időszakában,³⁸ de várhatóan még hosszú ideig velünk marad.

Ezeket az eszközöket is lehetséges hatástalanítani az általam vizsgált, helyszínen összeállított kumulatív eszközökkel, tehát alapvető részei lehetnek a katonai tűzszerészek korszerű eszköztárának.³⁹ Improvizált robbanótestek esetében is van lehetőség akár teljes hatástalanításra vagy részleges eredmények elérésére, de az egyes alkatелеmek szeparált hatástalanítására is alkalmasak lehetnek a 3D technológiával előállított kumulatív töltetek. Az egyes alkatелеmek külön hatástalanítása akkor lehet szükséges, ha a merénylő hagyományos robbanótestekből állította össze az IED-t.

Összegzés

A fent bemutatott tények és lehetőségek véleményem szerint jól példázzák, hogy van jelentősége a 3D nyomtatásnak nemcsak a civil, de a katonai robbantástechnikában is. A tanulmány a kumulatív töltetekre helyezte a hangsúlyt, de más részterületeken is lehetséges és szükséges a lehetőségeket megvizsgálni.

³⁶ Kovács Zoltán: Az improvizált robbanóeszközök főbb típusai. *Műszaki Katonai Közlöny*, 22. (2012), 2. 37–52.; Kovács Zoltán: Repülőtéri létesítmények fizikai védelme IED ellen. *Repüléstudományi Közlemények*, 26. (2014), 2. 106–113.

³⁷ Daruka Norbert: Terroristák és taktikák, avagy védekezz, ha tudsz. *Repüléstudományi Közlemények*, 24. (2012), ksz. 33–41., különösen 34.

³⁸ Tomolya János – Padányi József: A terrorizmus jelentette kihívások. *Hadtudomány*, 22. (2012), 3–4. 34–67.

³⁹ Horváth Tibor: Az IED hálózat mint korunk egyik aszimmetrikus kihívása. In Kállai Attila et al.: *Humánvédelem – békeműveleti és veszélyhelyzet-kezelési eljárások fejlesztése*. Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, 2016. 301–331., különösen 312.

A célfeladatokra történő optimalizálás létjogosultsága egyre nagyobb, és a várható kémiai és egyéb hatások miatt romló állapotú hagyományos robbanótestek ezt egyre inkább meg fogják követelni. Nem mehetünk el a technikai fejlődés mellett, illetve nem hagyhatjuk, hogy a technológia megelőzzön minket.

Fontosnak tartom, hogy a jövőben a fent bemutatott irányvonalak mentén, nagy biztonságot adó, a töltetek gyakorlati létjogosultságát megalapozó kísérletsorozatot követően megtörténjen a jelzett kumulatív töltetváltozatok kidolgozása. A 3D technológia beillesztése a hazai katonai tűzszerésszakma eszköztárába további jogi, beszerzési és képzési területeket érintő vizsgálatokat igényel.

Felhasznált irodalom

- 142/1999. (IX. 8.) Korm. rendelet a tűzszerészeti mentesítési feladatok ellátásáról
- Ahmad, Farrukh – Joseph B. Hughes: Anaerobic Transformation of TNT by Clostridium. In Jim C. Spain – Joseph B. Hughes – Hans-Joachim Knackmuss (szerk.): *Biodegradation of Nitroaromatic Compounds and Explosives*. Boca Raton, CRC Press, 2000. 185–212.
- Berek Tamás: ABV (CBRN) tűzszerészcsoporthoz mint a biztonsági kihívásokra adott válaszlépés. *Bolyai Szemle*, 25. (2016), 4. 22–34. Online: <http://ludovika.lnkiy.in/Fp2fY>
- B. H., Chang – J. P. Yin – Z. Q. Cui – T. X. Liu: Numerical Simulation of Modified Low-Density Jet Penetrating Shell Charge. *International Journal of Simulation Modelling*, 14. (2015), 3. 426–437. Online: <http://ludovika.lnkiy.in/YIHps>
- Boda József – Boldizsár Gábor – Kovács László – Orosz Zoltán – Padányi József – Resperger István – Szenes Zoltán: A hadtudományi kutatási irányok, prioritások és témakörök. *Államtudományi Műhelytanulmányok*, (2016), 16. 1–23. Online: <http://ludovika.lnkiy.in/fEitW>
- Daruka Norbert: Terroristák és taktikák, avagy védekezz, ha tudsz. *Repüléstudományi Közlemények*, 24. (2012), ksz. 33–41. Online: <http://ludovika.lnkiy.in/kkAzj>
- Doig, Alistair: Some Metallurgical Aspects of Shaped Charge Liners. *Journal of Battlefield Technology*, 1. (1998), 1. 1–3.
- Ember István: Alternatíva a tűzszerész szakfeladatok során alkalmazható kumulatív töltetekre. *Seregszemle*, 14. (2016), 3–4. 50–63. Online: <http://ludovika.lnkiy.in/j4wVy>
- Explosia: Explosives. *Explosia.cz* (2017. január 1.). Online: <https://explosia.cz/app/uploads/2017/11/Explosives-catalog-2017.pdf>
- Fritsche, Wolfgang – Katrin Scheibner – Angela Herre – Martin Hofrichter: Fungal Degradation of Explosives: TNT and Related Nitroaromatic Compounds. In Jim C. Spain – Joseph B. Hughes – Hans-Joachim Knackmuss (szerk.): *Biodegradation of Nitroaromatic Compounds and Explosives*. Boca Raton, CRC Press, 2000. 213–238.
- Hatala András: Üreges töltetek. I. rész. *Haditechnika*, 44. (2010), 2. 72–76.
- Hernád Mária – Kugyela Lóránd: Risk of Carbon Monoxid Intoxication in Explosions. *Hadmérnök*, 8. (2012), 2. 56–64. Online: http://hadmernok.hu/2012_2_hernad_kugyela.pdf
- Horváth Tibor: Az IED hálózat mint korunk egyik aszimmetrikus kihívása. In Kállai Attila – Krajnc Zoltán – Kristóf Zoltán – Szűcs Pál – Kalmár István – Csengeri János – Szabó Csaba – Horváth Tibor – Katona Zoltán – Varga Zsolt – Földi László – Halász László – Petró Tibor – Horváth Attila – Bányász Péter – Derzsényi Attila – Boldizsár Gábor – Bolgár Judit – Holndonner Hermann – Für Gáspár – Tuba Zoltán – Körmös Csaba: *Humánvédelem – békeművelési*

- és veszélyhelyzet-kezelési eljárások fejlesztése. Budapest, Nemzeti Közszerológati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, 2016. 301–331. Online: <http://ludovika.lnkiy.in/5GiXE>
- Jianya, Yi – Zhijun Wang – Jianping Yin – Zhimin Zhang: Simulation Study on Expansive Jet Formation Characteristics of Polymer Liner. *Materials*, 12. (2019), 5. 744. Online: <https://doi.org/10.3390/ma12050744>
- Johnson, Mark S. – Christopher J. Salice: Toxicity of Energetic Compounds to Wildlife Species. In Geoffrey I. Sunahara – Guilherme Lotufo – Roman G. Kuperman – Jalal Hawari (szerk.): *Ecotoxicology of Explosives*. Boca Raton, CRC Press, 2009. 157–175.
- Kovács Zoltán: Az improvizált robbanóeszközök főbb típusai. *Műszaki Katonai Közölny*, 22. (2012), 2. 37–52. Online: <http://ludovika.lnkiy.in/5zxnI>
- Kovács Zoltán: Repülőtéri létesítmények fizikai védelme IED ellen. *Repüléstudományi Közlemények*, 26. (2014) 2. 106–113.
- Kugyela Lóránd: A többkomponensű robbanóanyagok múltja, jelene és jövője. *Katonai Logisztika*, 28. (2020), 4. 58–75. Online: www.mkle.net/products/a2020-4-szam/
- Lukács László: A kumulatív töltetek és gyakorlati alkalmazásuk. *Műszaki Katonai Közölny*, 20. (2010), 1–4. 175–196. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/mkk/article/view/2866/2122>
- Lukács László: *Szemelvények a magyar robbantástechnika fejlődéstörténetéből. Különös tekintettel a továbbfejlesztés várható irányaira és a kor új kihívásaira*. Budapest, Dialóg Campus, 2017.
- Mulligan, Phillip – Catherine Johnson – Jason Ho – Cody Lough –, Edward Kinzel: 3D Printed Conical Shaped Charge Performance. In *Hypervelocity Impact Symposium. Conference Proceedings*. Destin (Fla.), (k. n.), 2019. 113–122. Online: <https://doi.org/10.1115/HVIS2019-110>
- Orlova, J. J.: *Brizáns robbanóanyagok kémiája és technológiája*. Budapest, Műszaki, 1986.
- Steckiewicz, Artur – Waldemar A. Trzeciński: *Investigation of the Reaction of Energetic Materials on Jet Impact*. A 17. New Trends in Research of Energetic Materials nemzetközi szemináriumra készült tanulmány. Pardubice, University of Pardubice, 2014. 1038–1049.
- Tomolya János – Padányi József: A terrorizmus jelentette kihívások. *Hadtudomány*, 22. (2012), 3–4. 34–67. Online: www.mhtt.eu/hadtudomany/2012/3_4/HT_2012_3-4_Tomolya_Padanyi.pdf