



DARUKA NORBERT* – KUGYELA LÓRÁND** – EMBER ISTVÁN***

TÖBBKOMPONENSŰ ROBBANÓANYAG ÉS ALKALMAZÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI

I. RÉSZ

* Robbanóanyag-ipari szakmérnök, a katonai műszaki tudományok habilitált PhD fokozatos, alezredes, MH Transzformációs Parancsnokság, Transzformációs Igazgatóság, Tudományos Kutatóhely. ORCID: 0000-0002-7102-1787

** Robbanóanyag-ipari szakmérnök, a katonai műszaki tudományok PhD fokozatos, CerTrust Kft. Vezető vizsgálómérnök (robbanóanyagok). ORCID: 0000-0002-2869-8864

*** Robbanóanyag-ipari szakmérnök, a hadtudomány PhD fokozatos, alezredes, NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Műveleti Támogató Tanszék, adjunktus. ORCID: 0000-0002-9877-0366

Összefoglalás: A többkomponensű robbanóanyagok alkalmazása a honvédelmi területen lehetőséget ad a katonai műveletek hatékonyabb és sokoldalúbb végrehajtására. Kifejlesztettek egy különleges feladatok ellátására, vagy speciális műszaki robbantástechnikai feladatok végrehajtására is alkalmas, helyszínen előállítható, kis átmérőben gyutacsindítható, többkomponensű, tixotróp tulajdonsággal rendelkező robbanóanyagot. Az új rendszer jelentős mértékben növeli a hatékonyságot, csökkenti a kockázatokat, és egyszerűsíti a robbantási műveletek lebonyolítását.

Kulcsszavak: bináris robbanóanyag, innovatív felhasználás, 3D töltetházak, tűzserész mentesítés

Abstract: The use of multicomponent explosives in the field of defence offers the possibility of more effective and versatile military operations. A multi-component explosive has been developed, with thixotropic properties, which can be produced on site, can be used for special missions or for specialised engineer demolition tasks, and can be fuse-initiated in small diameter fuses. The new system significantly increases efficiency, reduces risks and simplifies the conduct of demolition operations.

Keywords: binary explosives, innovative use, 3D charge cases, bomb disposal

BEVEZETÉS

Az orosz–ukrán háború gyökereiben megváltoztatta a jelenkori hadseregek stratégiai berendezkedését. 2022 februárja előtt szinte korlátlan

mennyiségben állt rendelkezésre lőpor, trotil¹ és hexogén² mind a katonai, mind az ipari robbantástechnika területén. Mára – három év leforgása alatt – a helyzet olyan szinten vál-

tozott meg, hogy a lőporgyárak már több évre előre vesznek csak fel rendelést, olyan feltételek mellett, hogy az alapanyagnak használt linter³ jelentős százalékban kínai eredetű lesz.

- ¹ TNT vagy trinitrotoluol $C_7H_5N_3O_6$ (CAS: 118-96-7), a leggyakrabban alkalmazott katonai robbanóanyag. A TNT tisztaságától függően halvány sárga, sárgásbarna színű, levegőn lassan barnuló, kristályos vegyület, melynek ütés-, hő- és dörzsérzékenysége igen alacsony.
- ² RDX – Nagy-Britanniában Royal Demolition eXplosive, az USA-ban és Kanadában Research Department eXplosive, Olaszországban T4 néven ismerik – a kémiai nevében lévő T betűk darabszáma alapján –, de cyclonitként is forgalmazzák. $C_3H_6N_6O_6$ (CAS: 121-82-4), kémiai nevén 1,3,5-trinitro-1,3,5-triazaciklohexán a második leggyakoribb katonai felhasználású, magas hatóerejű robbanóanyag.
- ³ A lőszerekben alkalmazott lőpor egyik alapanyaga, a pamutgyártás egyik mellékterméke.



1. ÁBRA. Az MH
1. Tűzszerész és Folyamőr
Ezred katonái egy
II. világháborús
légibombát
hatástalanítanak
(Fotó: Gajdos Milán
főhadnagy / MH 1. tűsz.
és főő. e.)

A TNT teljes mértékben hiánycikk lett, az európai gyártása a jelentős vízfelhasználás [1] és környezetszennyezés miatt visszaszorult. Jelenleg a legnagyobb európai gyártók Lengyelországban és Szerbiában találhatók, emellett jelentős az indiai, török és kínai gyártás is. Új TNT-üzemek lé-

tesítését tervezi Finnország [2], valamint az USA is. [3][4] Az amerikai hadsereg által használt tűzérési lőszerrek robbanóanyagát hajóval szállítják az amerikai kontinensre, ahol a lövedékekbe töltik, majd onnan visszaszállítják a NATO-tagországokba, vagy éppen a háborús övezetekbe. Az ilyen hosszú logisztikai ellátási lánc jelentősen növeli a kiadásokat. A fentiek miatt, az ellátási láncok rövidítése érdekében új gyár létrehozása hosszabb távon kifizetődő lehetne, hiszen az 1980-as évek óta nem gyártanak TNT-t az amerikai kontinensen. Fontos megjegyezni emellett, hogy habár jelentős lépéseket tesznek új robbanóanyagok kifejlesztésére [5; 60.][6], még mindig a TNT képezi a gerincét a tűzérési eszközöknek és a tűzszerészmunkának. [7] Egy új, stabil és kezelésbiztos robbanóanyaggal történő kiváltása biztosan nem valósul meg a következő évtizedekben.

EGY HÁBORÚ HATÁSAI

Az orosz–ukrán konfliktus napjainkra nagyrészt állóháborúvá változott, ahol mind a két fél harcanyaghiánnyal küzd. Ennek szekunder hatása – világviszonylatban – az, hogy az alapanyagot gyártó néhány létesítmény kapacitása folyamatos üzemvitel mellett is több évre le van kötve. Hexogén jelenleg – a Magyar Lőszergyártó és Rendészeti Technológiai Korlátolt Felelősségű Társaság információi szerint – 22–24 hónap várakozási idővel rendelhető. Plasztikus robbanóanyag

(PETN-bázisú – pentaeritrit-tetranitrát vagy nitropenta) csak limitált mennyiségben rendelhető. Ez a jelenség éppen olyan erősen írja felül a hadseregek robbanóanyag-felhasználását, mint például a drónok a harci tevékenységeket, mivel két éve még nem volt elterjedt a drónok ilyen mértékű harci alkalmazása. Napjainkban viszont katonai műveletek már elképzelhetetlenek dróntámogatás nélkül.

Jelenleg felbecsülhetetlen a mennyisége azoknak a fel nem robbant tűzérési eszközöknek, rakétáknak, bombáknak, amelyek a háború lezárása után maradnak hátra. Az ezeknek a megsemmisítéséhez szükséges robbanóanyag-mennyiség is elképzelhetetlenül hatalmas lesz. A szükséges harcanyagokat légi úton vagy a rombolt közlekedési hálózaton keresztül kell majd a helyszínre juttatni, amelynek a szállítási költsége és szervezése is jelentős feladat lesz. Ilyen nehéz körülmények között különösen fontos egy olyan robbanóanyag, amelynek előállítása akár egy helyszínre telepíthető üzemben is megvalósítható, és költsége elenyésző egy plasztikus robbanóanyagéhoz képest.

Azt, hogy milyen szükségmegoldások léteznek háborús helyzetben, jól példázza az is, amit Damó Elemér második világháborús tapasztalatairól szóló írásából [8] ismerhetünk meg. A műszaki alakulatok akkoriban „trikkettőt” használtak, ami nitrokeményítő volt, gyártása a Nitrokémia Rt. üzemében folyt. [9] A második világ-

2. ÁBRA. Földrobbantó
töltetek előkészítése
műszaki szakfeladatok
végrehajtásához
(Fotók: Janó Miklós
törzsőrmester / MH RF
14. mű. e.)





3. ÁBRA. A szétvált robbanóanyag-rendszer folyadékfázisa, klasszikus KINEPAK keverék esetén (Fotó: Kugyela Lóránd)

háborúban alkalmazott tetril, hexogén és trotil túl drága volt a műszaki feladatokhoz, ezért azokat csak tűzérési löszekben és bombákban alkalmazták. Szükség volt valamilyen olcsón, helyben előállítható robbanóanyagra, így került sor a Fűzfőgyártelepen, keményítő nitrálásával előállított nitrokeményítő létrehozására.

Ebből a rövid történeti visszatekintésből is látszik, hogy a robbanóanyagok felhasználása feladatfüggő, és financiaális vagy funkcionális alapon lehetséges prioritizálni a felhasználandó robbanóanyagot.

EGY KÜLÖNÖS TERMÉK HÁTTERE

A bináris vagy kétkomponensű robbanóanyagok fogalma a magyar szakirodalomban alig ismert. Maga az elnevezés amerikai eredetű és többnyire Gerald „Jerry” Leroy Hurst⁴ nevéhez köthető, aki két összetevőből álló robbanóanyag-keverék (KINEPAK) esetén említi azt. [5; 58–75.] Európában, bár eltérő összetevőkkel, már 1871-től találhatók információk a többkomponensű robbanóanyagokkal (TKR) kapcsolatosan. A napjainkban is alkalmazott Sprengel-robbanóanyagok

felfedezőjük Hermann Johann Philipp Sprengel nevéhez fűződnek, aki még a 19. században szabadalmaztatta robbanóanyag-keverékeit. [10] Ezek erős oxidálószeres és éghető anyag keverékei, ami alapgondolata az AN-DO – ammónium-nitrát és dízelolaj keverékéből álló robbanóanyagnak is.

Maga a kompozit robbanóanyag tulajdonképpen az előzőekben említett anyagok más megfogalmazása, persze rugalmasabban kezelve a kérdést, mivel egyaránt értik oxidálószer és éghető anyag keverékére (pl. AN-DO) [11], valamint robbanóanyag-keverékre is (RDX + Al vagy TNT + Nitroguanidin). [12][13][14] A legegyszerűbb meghatározás szerint: a kristályos oxidálószeres nitrát-észterekkel keverve heterogén fizikai szerkezetű kompozit robbanóanyagokat eredményeznek, melyek energiasűrűsége nagyobb, mint a homogén robbanóanyagoké. [15] A kompozit robbanóanyagokkal, illetve azok alkalmazási lehetőségeivel hazánkban nagyon kevesen foglalkoztak [16][17][18; 246–250.], gyakorlati alkalmazásra pedig nem is került sor.

A bináris robbanóanyagokat a mai napig szinte kizárólag az Amerikai Egyesült Államokban használják, többségében katonai robbantási feladatokra. Ezek jellemzően tűzserész feladatok [19], amelyeket sok esetben alvállalkozók bevonásával végeznek. Hazánkban kizárólag a Magyar Honvédség 1. Tűzserész és Folyamőr Ezred hajt végre ilyen jellegű munkákat. Ez az egyetlen olyan alakulat, ahol a veszélyességre és a sokrétű társadalmi összefonódásra való tekintettel nemcsak katonai szabályzók, hanem magasabb szintű rendelet (a 142/1999. Kormányrendelet a tűzserészeti mentesítési feladatok ellátásáról) szabályozza a Magyarország területén tűzserész tevékenységet végző szervezetek munkáját, jogait és kötelességeit. [20]

Az ok, ami miatt egyre nagyobb jelentőséggel bír ezen robbanóanyagok használata, nem más, mint az olcsó alapanyagköltség, illetve a biztonságos közúti és légi szállítás. [21] Az 1980-as évek óta tartó használatuk mind a civil, mind a katonai területen

bizonyította, hogy valóban biztonságosan és megbízhatóan használhatók ezek a robbanóanyagok, és annak ellenére, hogy nem váltják ki a plasztikus robbanóanyagot és a TNT-t, mégis van létjogosultságuk.

A robbanóanyag brizanciája⁵ alkalmassá teszi őket arra is, hogy a robbanószerkezeteket robbantással megsemmisítse, így a tűzserészek is sok helyen alkalmazzák őket a világban. [7]

Az amerikai Védelmi Minisztérium 2005-ben, a szárazföldi aknák helyszíni semlegesítésének/megsemmisítésének eszközeit, módszereit vizsgáló programja záró tanulmányában hatféle bináris (főleg nitrometán-bázisú) robbanóanyag sikeres alkalmazásáról számolt be. [22] Azonban ezek az anyagok nem honosodtak meg, az amerikai hadsereg jelenleg nem használ bináris robbanóanyagot. Ehhez azonban nagyban hozzátartozik, hogy jelentős mértékben önellátó a legtöbb robbanóanyag tekintetében.

A polgári környezet tekintetében alapvetően jellemző a tűzserészfeladatokra, hogy nem napi szintűek és nem tervezhetők előre [23], ugyanakkor a robbanóanyag-igényük jellemzően nem nagy, általában csak néhány kilogramm. [24] Amerikában napjainkban leginkább a következő feladatoknál használják bináris robbanóanyagot:

- csővezeték-nyomvonal előkészítési munkáinál, munkagéppel nem kezelhető kötőbök robbantásánál;
- erőművek gőz-csővezetékeinek tisztító robbantásánál;
- túraútvonalak, túraösvények építési munkáinál, tisztításánál;
- nemzeti parkok robbantási feladatainál;
- kisebb épület, építmény robbantási munkáinál.

A fenti esetekből jól látszik, hogy főleg a kevés robbanóanyaggal elvégezhető, nem rendszeres robbantási munkákhoz használják ezt a fajta anyagot.

Speciális terület a fémplattírozás, vagyis fémlamezok robbantásos hegesztése. Ezek kis szériában készült termékek, amelyeket például reaktor-

⁴ Amerikai vegyész és tűzvizsgáló (1937–2015), a Kinepak bináris robbanóanyag feltalálója.

⁵ Robbanóanyagok hevessége, zúzóhatásának mértéke.

technológiához, agresszív vegyi anyagokat tároló nagyméretű tartályfelekhez, speciális csőkötésekhez, szupravezető kötések gyártásához alkalmaznak. Használatukkal lehetőség nyílik konvencionális módon egymáshoz nem hegeszthető-köthető fémek gyártására, mint például titán-alumínium vagy alumínium-vörösréz. [25] [26; 194–242.] [27; 48–49.]

EGY KÜLÖNÖS TERMÉK NAPJAINKBAN

Minden túlzás nélkül állíthatjuk, hogy Európában többkomponensű robbanóanyagot nemhogy polgári területen, de még katonai területen sem használtak sehol, csak Magyarországon. A dr. Kugyela Lóránd által hosszú fejlesztési folyamatként létrehozott TKR többkomponensű robbanóanyag – mely magában hordozza az eredeti amerikai alapötletet – azonban olyan mértékben módosult, hogy mára önálló terméké vált. Felhasználási területeinek elemzése és tesztelése során bizonyított alkalmazási lehetőségei:

- vágó- és lyukasztótöltetekben történő felhasználás;
- fémplattírozás során történő alkalmazás;
- „water impulse charge” speciális vágótöltetek nyílászárók nyitására;
- boosterként ANDO indítására;
- tüzserész mentesítési feladatokban történő alkalmazhatóság.

A vizsgálati eredmények teljes ismertetése kimerítené e publikáció korlátait, azonban a tüzserész feladatokhoz történő alkalmazások több szempontból ígéretes eredményeket mutattak.

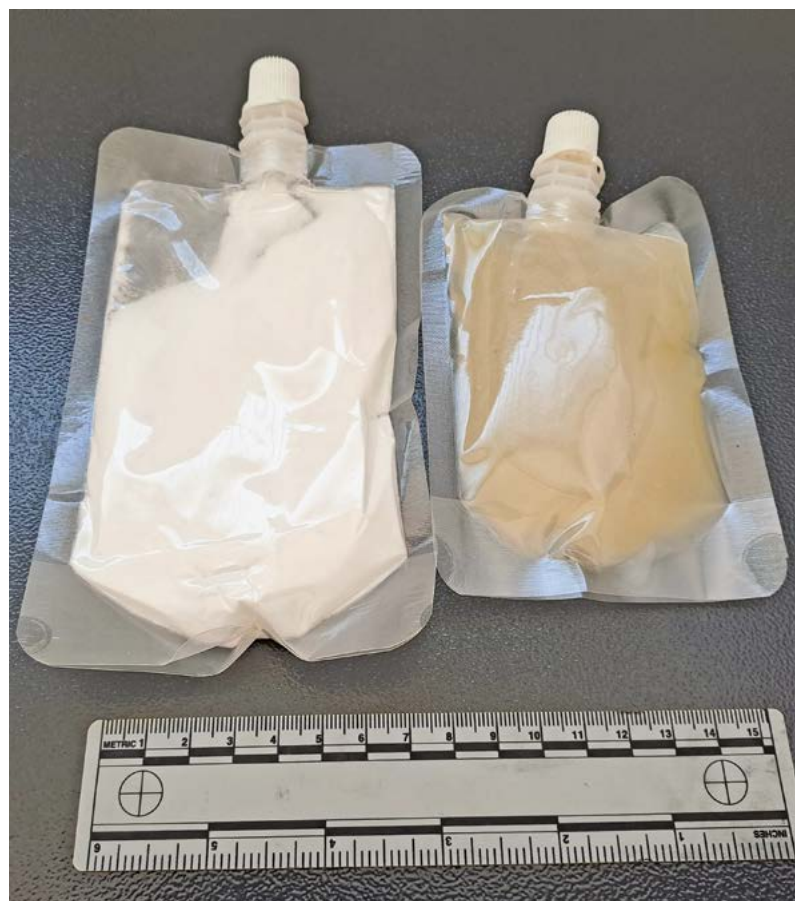
A SAJÁT FEJLESZTÉSŰ TKR ÁLTALÁNOS JELLEMZÉSE

A 2016-os, amerikai US 9,506,729 B2 azonosítójú szabadalom komplexen és széleskörűen bemutatja a bináris robbanóanyagok akkori állapotát, valamint előnyöket és hátrányokat is megfogalmaz több bináris rendszerű robbanóanyaggal szemben. Azonban a jelzett szabadalmak egyike sem érinti, illetve kezeli a kikevert robbanóanyag struktúráját, továbbá ennek

gyakorlati fontosságát. Vagy kizárólag folyékony rendszerrel, vagy csak szilárd–folyékony rendszerrel rendelkező robbanóanyagok állnak jelenleg használatban. [22]

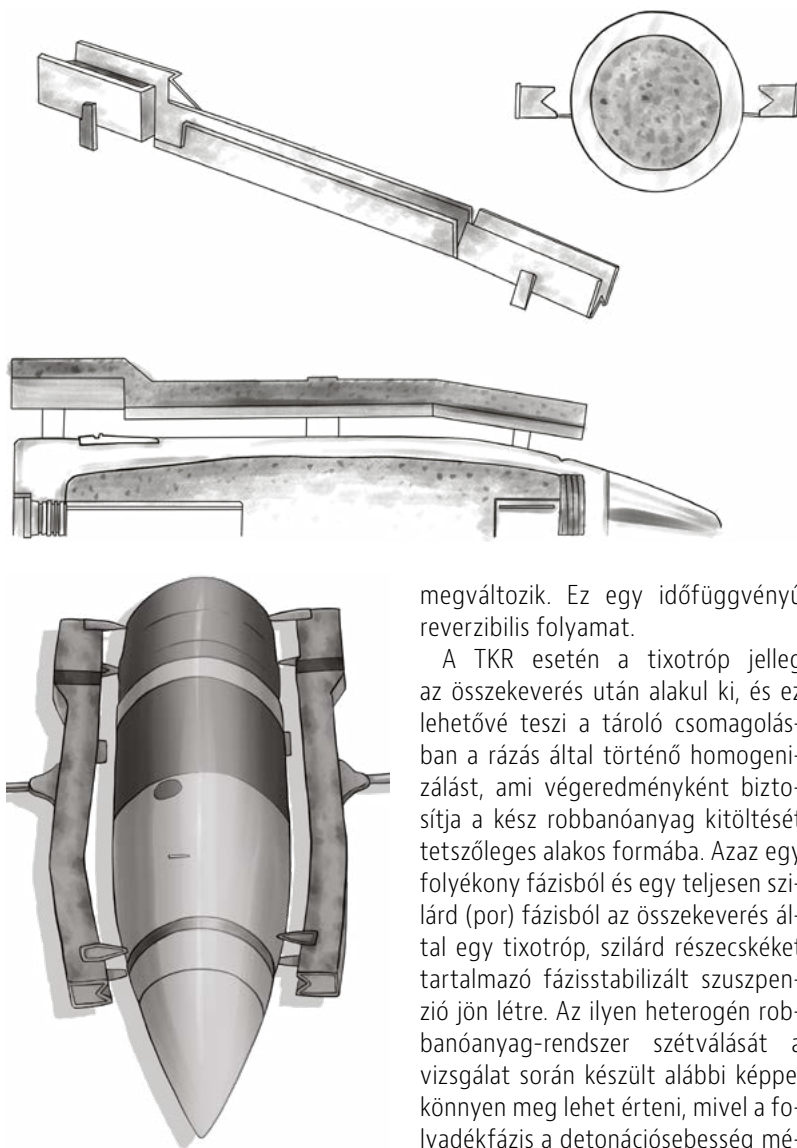
A fejlesztett TKR (többkomponensű robbanóanyag) ezt az alkalmazási rést és potenciált használja ki,

mivel olyan szuszpenziós robbanóanyag-rendszer, amely hosszú távon sem változtatja meg a térfogati sűrűségét. Ez azt jelenti, hogy a szilárd frakció nem ülepedik és nem mozog gravitációsan. Ezt annak az egyedi tulajdonságának köszönheti, amelyet tixotróp⁶ szuszpenzióknak



4. ÁBRA. A TKR mint nem robbanóanyag (felső kép), keverés közben (lent balra) és robbanóanyagként (jobbra) (Fotó: Kugyela Lóránd)

⁶ A tixotrópia jellemzően liofil szoloknál (diszperziós kolloid folyékony állapota) fellépő jelenség, amikor egy anyag viszkozitása nyíró igénybevétel (pl. keverés) hatására lecsökken, de bizonyos idejű pihentetés után a kolloid struktúra (gélszerkezet) regenerálódik, és az eredeti viszkozitás visszaáll.



5. ÁBRA. Tüzérségi lözser
tűzserész mentesítése
helyszínen töltött
lineáris vágótöltettel
(Schlachter Stefánia
grafikái
a [31; 24.] alapján)

neveznek. A két fogalom tisztázása fontos ahhoz, hogy a TKR ezen tulajdonságait a felhasználás szempontjából tudjuk értékelni. Egyszerűen megfogalmazva mindez azt jelenti, hogy a folyadékfázis tixotróp tulajdonsággal rendelkezik, és a szilárd részecskék ebben lebegnek. Ezt akár a nehéz ANDO-ról is állíthatnánk, azonban ott az emulzió nyíróerő hatására nem változtatja a viszkozitását. Éppen emiatt a töltésnél elkerülhetetlen a légbuborékok, lunterek kialakulása.

A TKR az összekeverés után tixotróp szerkezetűvé válik. Ez a tulajdonság bizonyos anyagoknál figyelhető meg, ahol anizometrikus mechanikai hatás következtében (rázás, mozgás, keverés, agitáció) a molekulák közötti kötésrendszer összeomlik, ami miatt a rendszer viszkozitása

megváltozik. Ez egy időfüggvényű reverzibilis folyamat.

A TKR esetén a tixotróp jelleg az összekeverés után alakul ki, és ez lehetővé teszi a tároló csomagolásban a rázás által történő homogenizálást, ami végeredményként biztosítja a kész robbanóanyag kitöltését tetszőleges alakos formába. Azaz egy folyékony fázisból és egy teljesen szilárd (por) fázisból az összekeverés által egy tixotróp, szilárd részecskéket tartalmazó fázisstabilizált szuszpenzió jön létre. Az ilyen heterogén robbanóanyag-rendszer szétválását a vizsgálat során készült alábbi képpel könnyen meg lehet érteni, mivel a folyadékfázis a detonációsebesség mérésére szolgáló nyíláson keresztül kifolyt. (3. ábra)

A TKR folyadékfázisának egyik alkotóeleme rendelkezik minden olyan tulajdonsággal, amely az ideális robbanóanyagok esetén előfordul. Tehát kicsi a kritikus átmérője, az anyagra jellemző detonációsebesség már kis átmérőben is kialakul, a detonáció sebessége és brizanciája miatt alkalmas üreges töltetek készítésére is.

A szuszpenziók általános jellemzője, hogy bizonyos idő elteltével kiülednek, és a folyadékoszlop keresztmetszeti sűrűsége nem lesz ugyanaz annak alsó és felső részén. Ez a klasztrikus Kinepak-típusú bináris robbanóanyag esetén kifejezetten nem kívánatos, bár az ilyen nagyarányú folyékony fázist tartalmazó robbanóanyagok nem elterjedtek. Ugyanezt a jelenséget figyeltük meg korábbi vizsgálataink során öntött

robbanóanyagok esetén is. [28; 39–48.][29; 280–298.][30; 27–34.] A TKR esetén azonban a szuszpenzió tartósan fennmarad, az hónapok után sem változik, így a robbanóanyag indíthatósága sem változik meg. A szilárd fázis porozitása miatt pedig a folyadék a szilárd részecskék szerkezetébe diffundál, ezáltal a detonációs hullám nem sérül a folyadék-szilárd fázis találkozásánál. Az inert alkotóelemek, főleg, ha azok magas olvadáspontúak, a detonációsebességet jellemzően csökkentik, mivel a robbanás kémiai átalakulásakor felszabaduló energia ezen alkotóelemek melegítésére, megolvasztására, elégetésére fordítódik.

A kifejlesztett TKR használatával a felhasználás helyszínén tetszőleges formájú és tömegű robbanóanyag-töltet hozható létre az előregyártott csomagolótartályok segítségével. (4. ábra)

Az új robbanóanyag tulajdonságai azonban a fentiekben túlmutatva azt is lehetővé teszik, hogy a felhasználó egy előre gyártott töltetburkolattal irányított hatású, azaz kumulatív tölteteket is készíthessen belőle. Kumulatív töltetek készítésénél azonban különösen fontos az alkalmazott robbanóanyag egyenletes töltése a töltetházba, mivel az egyenetlen töltés akár a robbanás megszakadásához, megálláshoz, illetve – vágótöltet esetén – a vágási képességének drasztikus lecsökkenéséhez vezethet.

A vágótöltetek jelentős része gyári extrudálással készül, azonban sok esetben előfordul az alakos töltetek helyszíni készítése egyes célfeladatokhoz. Ebben az esetben többnyire plasztikus robbanóanyagokat használnak, mivel ezek kezelésbiztosak, és gyúrással formázva az előre elkészített alakos töltetházakba juttathatók. Erre jó példa az amerikai haditengerészet által 1947-ben kiadott (akkor természetesen még titkos minősítésű) szabályzat, melyben ilyen, a helyszínen plasztikus robbanóanyaggal töltött, lineáris vágótölteteket alkalmaztak tüzérségi lözserék és légibombák tűzserész mentesítésére. (5. ábra)

A plasztikus robbanóanyagok formálhatósága azonban a hőmérséklet csökkenésével romlik, és nehézkessé

válí az egyenletes töltetoszlop kialakítása. A TKR ezzel szemben lehetőséget biztosít a kumulatív töltetek készítésére olyan módon, hogy azokban a robbanóanyag egyenletes sűrűségben és légbuborékmentesen töltse ki a teret, és bár vágóképeségük nem közelíti meg a HMX⁷, RDX robbanóanyag-tölteteket [6], ugyanakkor akár 20–30 mm vastagságú acéllemez problémamentes átlukasztására is képesek. A felhasználás során a megtöltött vágótöltet-házból a légbuborékok rázással vagy ütögetéssel felúsznak a felszínre. Ez a korábban említett fázisváltás miatt érhető el, mivel a rázás során létrejövő

nyírófeszültség megbontja a szerkezetet, és a folyadékként viselkedő robbanóanyag felszínére fel tudnak a kisebb sűrűségű buborékok úszni. A fázis-visszaalakulási idő után akármilyen irányba forgatható a töltet, mivel abból nem fog a robbanóanyag kifolyni. Ez a tulajdonság jelenleg a világon egyedülálló szerkezetet eredményez, teljesen új felhasználási lehetőségekkel.

Természetesen a TKR-hez szükségessé vált a megfelelő csomagolás kifejlesztése, amely lehetővé teszi a homogén keverék kialakulását, és nem képez akadályt az iniciáláshoz sem. Emellett a csomagolás meggátolja

az alkalmazó és az alkotóelemek fizikai kontaktusát, így sem belélegzéssel, sem pedig érintéssel nem tudnak az alkotóelemek az emberi szervezetbe bejutni. A gyutacsnak is elegendő, ha a csomagoláson keresztül érintkezik a robbanóanyaggal. Ez a csomagolás alkalmassá teszi a TKR-t katonai és rendvédelmi feladatok végzése során szabadon feltekert töltetként a szerkezetilem-robbantások, aknamentesítés és tűzszerész munkák elvégzésére, vagy a különleges rendeltetésű erőknél speciális behatolási feladatok végrehajtására is.

(Folytatjuk)

HIVATKOZÁSOK

- [1] Orlova, J. J.: Brizáns robbanóanyagok kémiaja és technológiája. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1986, 283.
- [2] Bereziuk, Olha: Finland plans to urgently build a factory for the production of TNT, which is in critical shortage due to the war in Ukraine. Бабель 2024.05.05. <https://babel.ua/en/news/106788-finland-plans-to-urgently-build-a-factory-for-the-production-of-tnt-which-is-in-critical-shortage-due-to-the-war-in-ukraine> (Letöltve: 2025.03.12.)
- [3] U.S. Army awards contract for domestic TNT production. US Army official website 2024.11.08. https://www.army.mil/article/281247/u_s_army_awards_contract_for_domestic_tnt_production (Letöltve: 2025.03.12.)
- [4] IME Applauds DOD Award to Construct Domestic TNT Production Facility. IME – Institute of Makers of Explosives official website 2024.08.11. https://www.ime.org/aws/IME/pt/sd/news_article/577277_PARENT/layout_details_share/false (Letöltve: 2025.03.12.)
- [5] Kugyela L.: A többkomponensű robbanóanyagok múltja, jelene és jövője. Katonai Logisztika 2020/4, 58–75. <https://doi.org/10.30583/2020.4.058>
- [6] Daruka N.: Érzéketlen robbanóanyagok I. – Célkérésben a TNT és a Composit B kiváltása. Műszaki Katonai Közlöny, 2023/2, 5–21. <https://doi.org/10.32562/mkk.2023.2.1>
- [7] Daruka Norbert: Speciálne trhacie práce pyrotechnikov pri každomdennej činnosti na misiách (A tűzszerészek speciális robbantási tevékenységei a napi munkában és a missziós feladatokban). Trhacia Technika 2010, 238–245.
- [8] Damó E.: Utász harcéri tapasztalatok. Műszaki Katonai Közlöny, 2008/1–4, 75–306. https://mkk.uni-nke.hu/document/mkk-uni-nke-hu/2008_14%20U%20C3%A1sz%20harc%20C3%A9ri%20tapasztalatok%20II-vh%20-%20Dam%20C3%B3%20E.pdf (Letöltve: 2025.03.12.)
- [9] Magyar Királyi Szabadalmi Bíróság, Szabadalmi leírás, 118102. szám, Nitrokémia Ipartelepek r.t.: Eljárás keményítő nitrálására. Bejelentés napja 1936. 05. 22. https://library.hungaricana.hu/hu/view/SZTNH_SzabadalmiLeirasok_118102/?pg=0&layout=s (Letöltve: 2025.03.12.)
- [10] Messel, Rudolph: Hermann Johann Philipp Sprengel. Journal of the Chemical Society, 1907, Vol. 91, 661–663.
- [11] Kent, P. – James, A.: Riegel's Handbook of Industrial Chemistry. New York, 1992. Van Nostrand Reinhold, 1190.
- [12] Gordon, W. E.: Detonation limits in composite explosives. Symposium (International) on Combustion, 1965/1, 833–838. [https://doi.org/10.1016/S0082-0784\(65\)80226-0](https://doi.org/10.1016/S0082-0784(65)80226-0)
- [13] Volk, F.: Detonation gases and residues of composite explosives. Journal of Energetic Materials, 1986/1–4, 93–113. <https://doi.org/10.1080/07370658608011335>
- [14] Maiz, Lotfi – Trzciński, Waldemar A.: Detonation and combustion of new heterogeneous composite explosives containing aluminum particles. 11th International Armament Conference on Scientific Aspects of Armament and Safety Technology, Ryn, Poland 2016. <https://www.slideshare.net/slideshow/detonation-and-combustion-of-new-heterogeneous-composite-explosives-containing-aluminum-particles/78501613> (Letöltve: 2025.03.12.)
- [15] Naminosuke Kubota: Propellants and Explosives, Thermochemical Aspects of Combustion. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. 2002, 249. [https://cdn.preterhuman.net/texts/terrorism_and_pyrotechnics/explosives/Science_of_Explosives/Propellants%20and%20Explosives%20-%20Thermochemical%20Aspects%20of%20Combustion%20\(Kubota\).pdf](https://cdn.preterhuman.net/texts/terrorism_and_pyrotechnics/explosives/Science_of_Explosives/Propellants%20and%20Explosives%20-%20Thermochemical%20Aspects%20of%20Combustion%20(Kubota).pdf) (Letöltve: 2025.03.12.)
- [16] Czapek Béla: Új robbanóanyagok az építés szolgálatában. Haditechnikai Szemle 1977/3, 84–88.
- [17] Bruce, J.: Az Astrolite robbanóanyagok. Haditechnikai Szemle 1970/1, 35–36.
- [18] Lukács László: Robbantástechnika a hazai katonai szakfolyóiratokban 1945–1990. között I. rész – Robbanóanyagok és iniciálásuk. Katonai Logisztika, 2020/3, 241–277. <https://doi.org/10.30583/2020.3.241>
- [19] Dubé P. et al.: Study of the Environmental Impacts of the Blow-In Place Procedure of Various Explosives. Munitions and Charges. Defence R&D Canada-Valcartier. Chapter 8. In Distribution and fate of energetics on DoD test and training ranges: Interim Report 4. ERDC TR-04-4. U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg 2004.
- [20] Daruka Norbert – Vörös Mihály: Tűzszerészek a közszolgálati feladatok ellátásában. Seregszemle 2012/2, 22–34.
- [21] Anderson, C. J. – Bauer, A.W.: FIXOR: A New Approach to Neutralizing Landmines and UXO. Journal of Mine Action. 2001/2, 86–87.
- [22] Institute for Defense Analyses: Operational Evaluation Test of Mine Neutralization Systems, Humanitarian Demining Research and Development Program Night Vision and Electronic Sensors Directorate, 2005. április.
- [23] Fletcher, L. R. et al.: Explosives and Blasting Procedures Manual. US Department of Interior 1983.
- [24] Walter, E. J. – Konya, C. J.: Rock blasting and overbreak control. US. DOT, Federal Highway Administration 1991.
- [25] Puraset Water & Metal Solutions website: <https://puraset.hu/hu/szolgalattasok/kutatas-fejlesztes/femtechnologia> (Letöltve: 2025.03.12.)
- [26] Lukács László – Szalay András: Robbantástechnika a hazai katonai szakfolyóiratokban 1945–1990. között II. rész – Robbantásos fémmegmunkálás. Katonai Logisztika, 2002/4, 194–242. <https://doi.org/10.30583/2020.4.194>
- [27] Lancaster, J. F.: Metallurgy of Welding. Springer, 1980. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-9506-8>
- [28] Mahadevan, E. G.: Ammonium Nitrate Explosives for Civil Applications. Wiley-VCH Verlag & Co. 2013. <https://doi.org/10.1002/9783527645688>
- [29] Kugyela Lóránd: Különböző robbanóanyagból készült kisméretű kumulatív töltetek teljesítményének összehasonlító vizsgálata. Műszaki Katonai Közlöny 2018/3, 280–298.
- [30] Kugyela Lóránd: Penetration efficiency of small sized conical shaped charges in steel targets. Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik – Mining Geological Petroleum Engineering Bulletin 34, 2019/2, 27–34. <https://doi.org/10.17794/rgn.2019.2.3>
- [31] OP 1720 Shaped Charge Ammunition and Applications of Shaped Charges to Explosive Filled Ordnance (Restricted). Navy Department Bureau of Ordnance, Washington 25. D. C. 1947, 24. Fig. 35.

⁷ A HMX (High Melting eXplosive), más néven oktogén egy robbanó nitramin, amelyet szűkebb körben használnak az iparban és a hadászatban. Tiszta állapotban fehér kristályos anyag. Stabilit, könnyen tárolható, ugyanakkor egyike a legbrizánsabb robbanóanyagoknak. Önmagában nem, többnyire robbanóanyag-keverékekben használják.