

Daruka Norbert¹ 

Érzéketlen robbanóanyagok I. – Célkeresztben a TNT és a Composit B kiváltása

Insensitive Explosives I. – Targeting the Replacement of TNT and Composite B

A technológia fejlődésével az iparban és a hadi alkalmazásokban is megjelentek az új anyagok, új eszközök. Ezeket az új termékeket többnyire a költséghatékonyság, a biztonságos kezelhetőség, illetve a környezet terhelésének csökkentése jegyében fejlesztették ki. A robbanóanyag-gyártás is nagy változásokon ment keresztül, ami abban is megmutatkozott, hogy a 19. század végétől gyűjtött tapasztalatokat felhasználva alkottak új robbanóanyagokat. Az új, érzéketlen robbanóanyagok alkalmasak arra, hogy olyan robbanótestekben váltsák ki a fő tölteteket, amelyek a hadi alkalmazások esetében egy időben, kis területen, de nagy mennyiségben vannak jelen. Az érzéketlen robbanóanyagok, robbanótestek lehetőséget biztosítanak a minél gazdaságosabb és hatékonyabb robbanóanyag-felhasználás elérésére, természetesen úgy, hogy közben a lehető legnagyobb biztonságot garantálják, függetlenül azok alkalmazási körülményeitől. Célom, hogy bemutassak néhány olyan érzéketlen robbanóanyagot, amelyek kevésbé ismertek, ismertessem az ezekkel történt hivatalos vizsgálatokat, illetve néhány példán keresztül mutassam be azokat az eszközöket, ahol az alkalmazás már megtörtént, vagy folyamatban van.

Kulcsszavak: érzéketlen robbanóanyag, érzéketlen lőszer, robbantástechnikai innováció

As technology has advanced, new materials and new tools have appeared in the industry and military applications. These new products have been developed mostly in the interests of cost-effectiveness, safe handling and reducing environmental impact. Explosives production has also undergone major changes, as reflected in the creation of new explosives based on the experience gained since the end of the 19th century. The new insensitive explosives are capable of triggering

¹ Robbanóanyag-ipari szakmérnök, e-mail: daruka.norbi@gmail.com

the main charges in explosive bodies which, in the case of military applications, are present in small but large quantities at the same time. Insensitive explosives and explosive bodies offer the possibility of achieving the most economical and efficient use of explosives, while guaranteeing the highest possible level of safety, whatever the conditions of use. My aim is to present some of the insensitive explosives that are less well known on the market, to describe the official tests that have been carried out on them and to give some examples of devices where their use has been or is being carried out.

Keywords: *insensitive explosives, insensitive munitions, explosive innovation*

Bevezetés

A robbanóanyagok, robbantószerkezetek fejlődéstörténetét kutatók számos elmélettel és néhány esetben bizonyítékkal is rendelkeznek a történelem első „szándékos” robbantásának időpontjáról. Sokan talán passzióknak tekintik ezeket a kutatásokat, és folyamatosan megcáfolva az előző feltevést, újabb és újabb elméletekkel állnak elő. Ami jelenleg bizonyítható, hogy a 19. század második felében kezdték el a robbanóanyagokat katonai robbanótettekben, tüzérségi lövedékekben alkalmazni.

1887-ben a francia Eugène Turpin bemutatta a pikrinsav-kollódiium bázisú melinitet, majd a francia hadsereg rendszeresítette a Turpin-féle, pikrinsavasrobbanóanyag-töltetű tüzérségi löszereket. Ebben az időszakban a brit hadsereg Cordite Mark I vagy CSP² elnevezéssel rendszeresített egy pikrinsavas katonai robbanóanyagot, majd ilyen anyagként az angoloknál megjelent a liddit, az oroszoknál a silotwor, az Osztrák–Magyar Monarchiában az ekrazit, a japánoknál a simoze, a németeknél pedig a Sprengkorper.³

Az 1863-ban még csak sárga festékként használt trinitrotoluol vagy ismertebb nevén trotil is csak a századforduló végén került be a robbanóanyagok palettájára, de tulajdonságainak köszönhetően már 1902-ben a német hadiipar tüzérségi lövedékek, nagy hatóerejű aknagránátok töltésére kezdte alkalmazni.⁴ „Az 1905-ös orosz–japán háborúban használták először katonai célra, az USA 1912-ben kezdte meg katonai felhasználását, az I. világháborúban pedig, már mindegyik hadviselő fél rendszeresített robbanóanyaga volt.”⁵ Annyira nagy volt a kereslet a kezelésbiztos TNT iránt, hogy azt a gyártási folyamatok nem tudták követni. Ekkor indultak meg a kevert robbanóanyagokkal kapcsolatos kísérletek, és 1915-ben Angliában létrehozták az amatolt, amely a trinitrotoluol és az ammónium-nitrát megfelelő arányú keveréke. Ez az anyag megfelelő tulajdonságokkal rendelkezett ahhoz, hogy pótolja a lövedékekben a tisztán TNT-alapú robbanóanyagot.

² CSP – *cordite smokeless powder*.

³ LUKÁCS 2008: 15–24.

⁴ A TNT-töltetű páncéltörő lövedékek képesek voltak arra, hogy a páncélt átütve, annak túoldalán robbanjanak fel, míg a britek által ekkoriban alkalmazott pikrinsavtöltetű páncéltörő lövedékek már a védelem külső oldalán működésbe léptek. Ezzel a robbanás energiájának nagy része veszendőbe ment. Ezért 1907-ben a brit haderő is áttért a TNT alkalmazására.

⁵ LUKÁCS 2008: 20.

A századfordulót követően, és sajnos az első világháború tapasztalatait is felhasználva, a robbanóanyagok fejlődését a velük kapcsolatos alapvető ismeretek bővítése, a robbanási jelenségek jobb megértése, valamint a robbanóanyagok folyamatos fejlesztése jellemezte. Számos példát találunk a fejlesztésekre, kísérletekre és különböző – mondjuk úgy – próbálkozásokra, amelyek több-kevesebb sikerrel hozzájárultak a robbanóanyagok fejlődéséhez. Az ezernyi kísérlet mellett természetesen a sikertelen próbálkozásokra is volt példa, ezek többnyire a jelen lévő személyek súlyos vagy halálos sérüléseivel végződtek.

1947. április 16-án a világ egyik leghalálosabb ipari balesetként nyilvántartott robbanás következett be Texas City kikötőjében. A baleset egy Grandcamp nevű francia Liberty hajóval történt, amelyet 2300 tonna ammónium-nitráttal (FGAN) töltöttek meg. A raktérben keletkező tűz hatására az anyag teljes felülete lángra kapott, és bekövetkezett a detonáció. A szerencsétlen esetet és annak borzasztó következményeit csak fokozta, hogy a robbanás következtében szétszóródott ammónium-nitrát és egyéb szállítmány (földmogyoró, dohány, zsinig, bunkerolaj) tovább égett, és a további reakciókból eredő tűz áterjedt a közelben található ipari területekre és erőművekre.

„A robbanás tizenöt méteres szökőárhullámot okozott, amely a dokkra csapódott, és elöntötte a környéket. A 40 mérföldre északra fekvő Houstonban összetörték az ablakok, Louisianában pedig 250 mérfölddel távolabb is érezték a robbanást.”⁶

A Grandcamp hajón történt robbanást és annak katasztrofális hatásait még fel sem fogták, amikor a High Flyer nevű hajó, amely minimális sérülést szenvedett az előző robbanásban, alig egy órával éjfél után felrobbant. Erre a robbanásra már számítani lehetett, hiszen az elmondások alapján eredménytelenül próbálták a hajót távolabb vontatni a kikötőtől a károk csökkentése érdekében. A publikáció témáját illetően a legfontosabb, hogy a hajó egyik rakterében körülbelül 1000 tonna ammónium-nitrát-műtrágya, másik két rakterében viszont 2000 tonna kén volt. Ez azért fontos, mert az ammónium-nitrát sokkal illékonyabbá válik kénnel kombinálva. Erre a robbanásra már számítottak, de két fő így is életét veszítette, és további károk keletkeztek a kikötőben.⁷ A vizsgálatok arra jutottak, hogy a Grandcamp hajón bekövetkező ammónium-nitrát-robbanás ipari területekre való áterjedése vezetett ahhoz, hogy az incidens komoly katasztrófává vált.⁸

1947. július 23-án az Ocean Liberty norvég teherszállító hajó fedélzetén 3160 tonna ammónium-nitráttal és 300 tonna olajjal megérkezett Brestbe, miután átkelt az Atlanti-óceánon. Ahogy az előző esetekben is, itt is füstöt észleltek a zárt hajótérben, és hiába próbálták meg megszüntetni, a robbanás bekövetkezett. A kikötőhöz közeli strandot a robbanás következtében árhullám öntötte el, ami tovább növelte az áldozatok számát. A balesetben összesen 22 ember vesztette életét, 4 fő eltűnt, és több százán megsérültek. Ekkor még nem volt ismert,

⁶ TCH 1997.

⁷ A robbanás lerombolta a mólót és több közeli gabonafelvonót, valamint tönkretette a „megfelelő” távolságban horgonyzó Wilson B. Keene hajót, amely több ezer tonna liszttel volt megrakva. Nem lehetett eldönteni utólag, hogy mi sérült meg az első, és mi a második robbanás során.

⁸ Körülbelül 581 halálesetről számoltak be, de csak 405 holttestet sikerült azonosítani. Ez a tragédia vezetett az első olyan üggyhöz, amelyet az Egyesült Államok kormánya ellen indítottak annak hanyagsága miatt, az akkor éppen újonnan elrendelt szövetségi kártérítési követelésekről szóló törvény hatálya alatt. Lásd: 1947 Texas City Disaster – First Explosion.

hogy az ammónium-nitrát önmagában is veszélyes, felforrósodhat, kigyulladhat, és ennek következtében bekövetkezhet a robbanás is.⁹

Ezek voltak azok a tragikus kezdeti események, amelyek a robbanóanyag-technológia mélyreható forradalmához vezettek. A 20. század közepén még nem tudták, hogy a szárítókból kikerült ammónium-nitrát zsákokba töltése és felhalmozása nagy mennyiségben – például egy hajó rakodóterében – elősegíti az öngyorsuló bomlást, amely detonációban csúcsosodhat ki. A katasztrófákat követően gyorsultak fel a robbanóanyagok kezelésbiztonságát vizsgáló kutatások. A vizsgálatok egy része azt is megállapította, hogy az éghető adalékanyagok és a csomagolás is hozzájárulhatnak a robbanáshoz, sőt fokozhatják a robbanóanyagok veszélyeit. További tanulmányok vezettek a biztonságos kezelési gyakorlatok bevezetéséhez.

Érzéketlen robbanóanyagok

A robbanóanyagok hadi és ipari felhasználásának igényei megkövetelték olyan robbanóanyagok kifejlesztését, amelyek képesek ellenállni a külső környezeti hatásoknak. Az elsődleges cél a felhasználási területtől függetlenül a biztonság növelése volt.

Két általános megközelítés létezik az érzéketlen robbanóanyagok kifejlesztésére ahhoz, hogy megfeleljenek a vonatkozó kritériumoknak. Az egyik a polimerkötésű robbanóanyag (PBX – *polymer bonded explosives*) előállítása, amelyben az energetikai komponens egy rugalmas polimermátrixba van beépítve. A másik módszer az, hogy önmagukban kevésbé érzékeny összetevőket, mint például az 1,3,5-triamino-2,4,6-trinitrobenzol (TATB – triaminotrotrinitrobenzol)¹⁰ vagy a 3-nitro-1,2,4-triazol-5-on (NTO – nitrotriazolon)¹¹ alkalmazunk.¹²

A robbanóanyagok külső hatásoknak történő ellenállását úgy lehet elérni, hogy olyan adalékanyagot (flegmatizálószer) keverünk hozzájuk, amely érzéketlenné vagy kevésbé érzékennyé teszi a robbanóanyagot a hő, a lökés, az ütés, a dörzsölés vagy a súrlódás hatásaira. A gyártási folyamatok során a legjellemzőbb flegmatizálószer közé tartozik például a viasz, a papír, a víz, a polimerek (például a klór-fluor-polimerek), az alkohol és az olajok néhány típusa is (például a paraffin és a vazelin).¹³ A felsorolt flegmatizálószer természetesen nem jelentenek kizárólagos megoldást egy robbanóanyag érzéketlenítésének folyamatában, hiszen számos

⁹ 1954. december 15-én a bresti polgári bíróság helybenhagyta az amerikai ammónium-nitrát-gyártó felelősségét. A rennes-i fellebbviteli bíróság 1957-ben megerősítette az ítéletet azzal az indokkal, hogy 1947-ben tudományosan nem volt ismert, hogy az ammónium-nitrát önmagában veszélyes, felforrósodik, és fennáll a begyulladás és a robbanás veszélye. Lásd: Nitrate Ship Blast at Brest Kills 8, Injures Hundreds.

¹⁰ A TATB egy nagyon erős robbanóanyag – erőssége a hexogéné és a trotilé közé tehető –, de rendkívül érzéketlen az ütésekre, rezgésekre, hőre és az egyéb környezeti hatásokra. Mivel nagyon nehéz véletlenül robbantani, még súlyos körülmények között is, előnyben részesítették olyan alkalmazásokban, ahol rendkívüli biztonságra van szükség, mint például a nukleáris fegyverekben használt robbanóanyagoknál, amelyek esetében a repülőgép lezuhanása vagy rakéta meghibásodása során bekövetkező véletlen robbanás rendkívüli veszélyeket jelentene.

¹¹ Az NTO egy brizáns, szagtalan, por vagy kristályos, szemcsés robbanóanyag. A színe a törtfehér, sárgásbézs színtől a világossárgáig terjed. Először 1905-ben azonosították, de robbanásveszélyes tulajdonságait csak az 1980-as években vizsgálták. Az anyagot fokozatosan alkalmazzák új robbanóanyag-készítményekben, például az IMX-101-ben, amely a TNT új, biztonságosabb alternatívája.

¹² LOCHERT 2001.

¹³ DARUKA 2016: 26–44.

módszer, előállítási folyamat és adalékanyag van, amely kiválthatja a kívánt hatást. A felsorolt anyagok inkább a gazdaságosság és az egyszerű kezelhetőség tekintetében relevánsak.

A gyártási folyamatok során a robbanóanyag néhány típusa olyan nagy mértékben flegmatizálható, hogy abban a detonációt kizárólag egy másik robbanóanyag – úgynevezett indítótöltet – segítségével lehet előidézni. Az ADR 2021 (Megállapodás a veszélyes áruk nemzetközi közúti szállításáról) szerint az ilyen anyagok a nagyon érzéketlen robbanóanyagok kategóriájába tartoznak (UN 0482). Ezek az anyagok „tömegrobbanási veszélyt képviselnek ugyan, de annyira érzéketlenek, hogy igen csekély az iniciálás vagy az égésből a detonálásba való átmenet veszélye a normális szállítási feltételek között”.¹⁴

A trotilt mint robbanóanyagot számos helyen alkalmazták az elmúlt évtizedekben, önmagában és keverékként is. Ez az anyag volt a hadiipar egyik legpreferáltabb robbanóanyaga egészen addig, amíg az egyes TNT-alapú olvadékképző formulákkal kapcsolatos mérgező és érzékenységi problémák miatt a TNT kiesett – elsősorban – a nyugati hadseregek kegyeiből. Ezzel a változással megnyílt az út a fejlesztők és a különböző alternatív megoldásokat vizsgáló szervezetek előtt, és új anyagok kerültek a robbanóanyagok piacára. Mielőtt bemutatom az érzéketlen robbanóanyagok alkalmazásának lehetőségeit, vizsgáljuk meg, hogy melyek a legújabb robbanóanyagok ezen a területen.

FOX-7 – DADNE, 1,1-diamino-2,2-dinitroetén

A FOX-7 egy érzéketlen brizáns robbanóanyag, amelyet a Svéd Védelmi Kutatási Ügynökségnél¹⁵ állítottak elő 1998-ban. Sztöchiometriai szempontból¹⁶ egyenértékű az RDX-szel¹⁷ és a HMX-szel¹⁸, de szerkezetileg nincs hasonlóság. A robbanóanyag tulajdonságait tekintve kizárólag a LOCHERT 2001 technológiai jelentésben feltüntetett adatokra hivatkozhatunk. A robbanóanyag sűrűségét többféle módszerrel határozták meg: kristálysűrűsége 1,878 g/cm³,¹⁹ porfrakcióban 1,885 g/cm³,²⁰ gázkiszorítással²¹ 1,86–1,87 g/cm³. Ebből adódóan a FOX-7 számított detonációs

¹⁴ ADR 2021.

¹⁵ SDRA, Swedish Defence Research Agency – Svéd Védelmi Kutatási Ügynökség.

¹⁶ A sztöchiometria a kémiának az a része, amely a kémiai reakciók során tapasztalható tömeg- és térfogatviszonyok törvényszerűségeivel foglalkozik. A sztöchiometriához tartozik a kémiai anyagok sűrűségének, moláris tömegének és térfogatának, olvadás- és forráspontjának stb. kiszámítása is.

¹⁷ Az RDX, más néven ciklonit vagy hexogén egy robbanó nitramin, amelyet széles körben használnak az iparban és a hadászatban. Tiszta állapotban fehér, kristályos, könnyen tárolható anyag.

¹⁸ A HMX, más néven oktogén egy robbanó nitramin, amelyet szűkebb körben használnak az iparban és a hadászatban. Tiszta állapotban fehér, kristályos anyag. Stabil, könnyen tárolható, ugyanakkor egyike a legbrizánsabb robbanóanyagoknak. Önmagában nem, többnyire robbanóanyag-keverékekben használják.

¹⁹ OSTMARK et al. 1998.

²⁰ BERGMAN et al. 1999.

²¹ Héliumpiknometria – a gázkiszorítás elvét használja a térfogat pontos méréséhez. Inert gázokat, esetünkben héliumot (esetleg nitrogént) használhatunk kiszorító közegként. A mintát az ismert térfogatú műszertérben lezárjuk, a megfelelő inert gázt beengedjük a térbe, majd egy másik precíziós belső térfogatra expandáljuk. A mintakamra feltöltésekor mért nyomás, majd a második, üres kamrába engedett gáz mért nyomásának az összehasonlítása lehetővé teszi a szilárd minta térfogatának kiszámítását.

sebessége 8870 m/s 1,885 g/cm³ sűrűség mellett. A laboratóriumi körülmények között mért detonációs sebesség 8335 m/s 1,756 g/cm³ sűrűségnél.²²

A FOX-7 nehezen oldódik a szokásos szerves oldószerekben és vízben, de könnyen oldódik dipoláris-aprotikus oldószerekben,²³ például acetonban. A fejlesztők az anyag széles körben történő feltérképezésének érdekében összehasonlító vizsgálatokat végeztek, amelyeknek másik robbanóanyaga az RDX volt. A kis méretű érzékenységi vizsgálatokat a DSTO²⁴ hajtotta végre, a FOX-7 teljesen tiszta és kristályosított mintáit összehasonlítva a hexogén mintáival.

Az 1. táblázatban látható értékek is jól igazolják azt, hogy a FOX-7 érzékenységi mutatói jelentősen meghaladják a hexogén közismert értékeit.

1. táblázat: Az érzékenységi és veszélyességi vizsgálatok eredményeinek összefoglalása

Vizsgálat megnevezése	FOX-7	RDX
Rotter-érzékenység (Fofl) ²⁵	110–140	80
Ütésérzékenység (cm) ²⁶	126–159 (kristályos kivétel)	38
Súrlódási érzékenység (N) ²⁷	168–288	120
Elektrosztatikus kisülési vizsgálat (J)	4,5 (kisülés) 0,45 (nincs kisülés)	4,5 (kisülés) 0,45 (nincs kisülés)
Vákuumstabilitási vizsgálat (ml/g) ²⁸	<0,1	<0,1
Gyulladás hőmérséklet (°C)	226	223

Forrás: LOCHERT 2001 adatai alapján a szerző szerkesztése

Arról azonban nincs adat, és az egyelőre semmilyen felületen nem érhető el, hogy az előállítási költsége, illetve a gazdaságossági mutatói milyen viszonyban állnak a többi, már alkalmazásban lévő érzéketlen robbanóanyagával. Miután kereskedelmi forgalomban kapható termékekből készül, és az előállítása problémamentes, az elterjedésével várhatóan a költséghatékonyága is javulhat. Az azonban már fellelhető különböző forrásokban, hogy a hadiipar lesz az a célközönység, amely igényt tarthat az új robbanóanyag folyamatos gyártására, illetve alkalmazhatja azt elsősorban az érzéketlen lőszerében. Számos katonai kutatóközpontban vizsgálják a tulajdonságait, még kevésbé érzékeny, biztonságosabban alkalmazható robbanóanyagok után kutatva.

²² LOCHERT 2001.

²³ Dipoláris-aprotikus oldószerek: DMF, DMA, DMSO, HMPTA. Közös tulajdonságuk, hogy többnyire szénhez kötött hidrogénjüket nehezen adják le, dielektromos állandójuk nagyobb mint 15, a kationokat jól, az anionokat kevésbé szolvatálják.

²⁴ DSTO, Defence Science and Technology Organisation – Védelmi Tudományos és Technológiai Csoport (Ausztrália).

²⁵ Figure of Insensitivity: az érzéketlenségábra egy robbanóanyag ütésérzékenységének inverz skálája. Ebben a konkrét összefüggésben az „érzéketlenség” kifejezés az ütés, súrlódás, elektrosztatikus kisülés, láng stb. hatására bekövetkező beindulás/robbanás valószínűségére utal. Ez a robbanásszerű bomlás előidézéséhez szükséges ingerszint mennyiségi mértéke.

²⁶ 2 kg-os BAM cseppszúlyos készülékben.

²⁷ Julius Peters-próbán, BAM súrlódási készülékben.

²⁸ 48 órán keresztül 100 °C-on tartott minta gázfejlődésének meghatározása.

FOX-12 – GUDN, N-guanilurea-dinitramid

Érzéketlen, fehér, kristályos por alakú, brizáns, magas hatóerejű robbanóanyag. A robbanóanyagot az SDRA vegyész, Abraham Langlet fedezte fel, és 1897-ben szabadalmaztatta. Előállítási költségei miatt – mint a hasonló tulajdonságokkal rendelkező érzéketlen robbanóanyagokat – általában keverékekben alkalmazzák. A kezdeti kísérleteket követően (a lőporhoz hasonlóan) kálium-nitráttal (KNO_3) mint erős oxidálószerrel keverve az autók légszákpatronjaiban alkalmazzák. Gyártótól függően ugyanezen a területen réz-nitráttal [$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$] keverve is megtalálható.

Nemcsak oxidálószerrel, hanem más robbanóanyaggal keverve is megtalálható a piacon. A trotil és a FOX-12 azonos arányú keveréke olyan, olvadékban önthető robbanóanyagot képez, amelyet előszeretettel alkalmaznak a nagy kaliberű lövedékek, bombák, aknák és torpedók robbanóanyagaként. Ez az anyag GUNTOL néven vált ismertté a piacon, de GUNTONAL néven is megtalálható. A GUNTONAL a 15% alumíniumot tartalmazó változat.²⁹ Az alumíniumport a stabilabb detonációs hullám elérésének érdekében, a detonációs sebesség növelésére alkalmazzák más robbanóanyag-keverékekben is.³⁰

A keverékek esetében még nagyobb teljesítmény érhető el, ha a FOX-12 robbanóanyaghoz szilárd töltőanyagként PETN-t,³¹ RDX-et vagy HMX-et adnak hozzá. Bár az említett keverékek teljesítménye kimagasló, nem alkalmazhatóak a precíziós fegyverek kialakításánál, mivel érzékenységiük miatt nem felelnek meg az érzéketlen lőszer (IM) követelményeinek. Voltak próbálkozások annak tekintetében, hogy viasz, paraffin vagy vazelin, esetleg más inert komponensek hozzáadásával a már amúgy is alacsony ütésérzékenységet csökkentsek, de nem találtam hiteles bizonyítást ennek működésére.

Kevés információ áll rendelkezésre annak vonatkozásában, hogy a JD-X-et vagy ismertebb nevén HNS-t³² milyen mennyiségben használják a FOX-12 keverékeiben, az azonban igazolt, hogy a TNT öntésekor 0,5%-ban HNS-t adnak hozzá azért, hogy a TNT-ben szabálytalan mikrokristályokat képezzenek, amelyek megakadályozzák a repedést. Az anyag tehát drasztikusan csökkenti a repedések kockázatát azáltal, hogy a makroszerkezetet erősebbé teszi, így válik alkalmassá arra, hogy akár tüzérségi lövedékek fő töltete legyen.³³

DNAN – 2,4-dinitroanizol

Alacsony érzékenyséjú, vízben nagyon gyengén oldódó, halványsárga, szemcsés – kristály- vagy túszerű – szerves vegyület. Alacsony érzékenységeinek köszönhetően folyamatosan vizsgálják mint az alacsony érzékenyséjú olvadékontvények új osztályának egyik tagját. Az előzőekben

²⁹ SJÖBERG et al. 2010.

³⁰ DARUKA 2016: 26–44.

³¹ PETN vagy TEN – pentaeritrit-tetranitrát, ismertebb nevén nitropenta.

³² JD-X (HNS) – hexanitroszilbén. Sárgás narancssárga, szilárd, hőálló erős robbanóanyag. A TNT nátrium-hipoklorit-oldattal történő oxidációjával állítják elő. A HNS nagyobb hőérzékenységgel büszkélkedhet, mint a TNT, és ahhoz hasonlóan érzéketlen az ütésekre.

³³ BOILEAU et al. 2009.

ismertetett okok miatt a trotil helyettesítésére alkalmas alternatívaként kezdték el vizsgálni és továbbfejleszteni.

A vizsgálatok első ütemeként a keveréket úgy állították össze, hogy megfeleljen a Composit B összetételének – vagyis RDX/TNT (60/40) – a TNT közvetlen helyettesítésével. Ezt az anyagot ARX-4027³⁴ elnevezéssel vizsgálták, és 39,75% DNAN-t, 0,25% MNA-t³⁵ és 60% RDX-et tartalmazott. A második ütemben a maximálisan érzéketlen tulajdonságok elérése érdekében a DSTO saját szervezetén belül állította elő az ARX-4028 formulát, amely 29,75%-ban tartalmazott DNAN-t, 0,25%-ban MNA-t és 70%-ban NTO-t. A harmadik formulánál, az ARX-4029 elnevezésűnél az ARX-4028-hoz képest az anyag robbanási tulajdonságát szerették volna fokozni. Ezért a formula 29,75% DNAN-t, 0,25% MNA-t, 65% NTO-t és 5% RDX-et tartalmazott. Az összehasonlító vizsgálatok eredményeinek szemléltetése céljából a negyedik formula egy alap Composit B volt, tehát 60% RDX, 40% [TNT+(1% viasz)].³⁶

2. táblázat: Robbanóanyag keverési arányai

Összetevők	DNAN	ARX-4027	ARX-4028	ARX-4029	Composit B
DNAN	100%	39,75%	29,75%	29,75%	–
MNA	–	0,25%	0,25%	0,25%	–
RDX	–	60,0%	–	5,0%	60,0%
NTO	–	–	70,0%	65,0%	–
TNT	–	–	–	–	40,0%

Forrás: PROVATAS–WALL 2014 adatai alapján a szerző szerkesztése

A 2. táblázatban feltüntetett robbanóanyagokkal végrehajtott mérések eredményei alapján megállapítást nyert, hogy a DNAN potenciálisan alkalmas a TNT helyettesítésére az ismert anyagokban, olvasztva, öntött robbanóanyag-formulák helyettesítésére. „Bár termikus tulajdonságai (vitathatóan) nem olyan ideálisak a jelenlegi olvadékontó berendezésekben történő feldolgozáshoz, mint a TNT-éi (például magasabb az olvadáspontja), nem találtak leküzdhetetlen akadályt a megvalósítás útjában.”³⁷ Mivel az anyag kémiai kompatibilitása a felsorolt összetevőkkel megfelelőnek bizonyult, semmi akadálya nincs annak, hogy a DNAN felhasználását a hadiipar a trotil alternatívájaként végrehajtsa.³⁸

³⁴ ARX, Australian Research Explosive.

³⁵ A metil-4-nitroanilint (MNA) adalékanyagként használják energikus anyagok olvadáspontjának csökkentésére érzéketlen robbanóanyagok szintézisében. Ezt a vegyszert általában köztes terméként használják színezékek, antioxidánsok, gyógyszerek és benzin szintézisében, gumiinhibitorokban, baromfigyógyszerekben és korróziógátlóként.

³⁶ PROVATAS–WALL 2014.

³⁷ DAVIES–PROVATAS 2006.

³⁸ DAVIES–PROVATAS 2006.

3. táblázat: Robbanóanyag-vizsgálati eredmények

HATÁSVIZSGÁLAT	DNAN	ARX-4027	ARX-4028	ARX-4029	Composit B
Detonációs sebesség (m/s)	5344	7398	7179	7487	7843
Relatív detonációs nyomás (GPa)	9,49	22,47	20,84	22,01	24,5
Kritikus átmérő (mm)	47,5–50,8	9,3–11,8	44,0–50,8	38,1–44,0	3,0–4,0
Sűrűség (g/cm ³)	1,54	1,68	1,76	1,77	1,72
Ütésérzékenység (GPa)	7,02	2,62	8,14	5,21	2,69
Réteszt (mm)	18	47	13,5	21,4	45,9
TERMIKUS (DSC-)VIZSGÁLATOK	DNAN	ARX-4027	ARX-4028	ARX-4029	Composit B
Olvadáspont (°C)	95,1	91,07	95,8	90,86	80,6
Bomláspont (max., °C)	350	236	262	258	220
ÉRZÉKENYSÉGVIZSGÁLATOK	DNAN	ARX-4027	ARX-4028	ARX-4029	Composit B
Rotter-érzékenység (Fofl)	>220	160	200	200	140
Súrlódási érzékenység (N)	160	288	324	288	108
Gyulladás hőmérséklet (°C)	347	220	227	205	212
Elektrosztatikus kisülési vizsgálat (J)	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Vákuumstabilitási vizsgálat (ml/g)	0,02	0,2	0,37	0,33	0,15

Forrás: PROVATAS–WALL 2014 adatai alapján a szerző szerkesztése

A 3. táblázatban feltüntetett vizsgálati eredmények is azt igazolják, hogy a DNAN-alapú robbanóanyagok esetében nem voltak jelentős különbségek a hatásvizsgálatoknál. Ez látható a termikus vizsgálatoknál, a súrlódási értékeknél és az elektrosztatikus kisülés értékeinél is. Az eredmények figyelembevételével levonhatjuk azokat a következtetéseket, hogy a vizsgált robbanóanyagok (ARX-formulák) nem válnak érzékennyé a különböző ingerekre, és képesek ellenállni a hőmérséklet-változásoknak is.

Az anyagvizsgálati dokumentáció szerint „[a] gyorsított öregedési vizsgálatok azt mutatják, hogy a DNAN-olvadékból öntött robbanóanyagok hatékonyabbak, mint a hagyományos, TNT-alapú robbanóanyag-töltetek, például a Composit B”.³⁹ A különböző ingerekre, hatásokra – lökésre, ütésre, ütközésre – való érzéketlenségükkel, illetve a hőhatásra tekintettel ezek a készítmények tökéletesen alkalmasak a TNT kiváltására, és ebből adódóan megfelelő anyagok lennének érzéketlen lőszer töltetének.

Fontosnak tartom megemlíteni, hogy a TNT DNAN-re történő cseréjét nem kizárólag az ausztrál DSTO igazolta. Az olvadékokból öntött robbanótöltetek alkalmazhatóságát az amerikai BAE Systems is igazolta: „az amerikai hadsereg megkezdte a TNT tűzészeti használatának fokozatos megszüntetését. A csere, amely jelenleg folyamatos gyártásban van, az IMX-101 nevet viseli, és sokkal biztonságosabb a kezelése és tárolása, mint a TNT-é, ugyanakkor hatékonyságuk megegyezik a csatatéren.”⁴⁰ Az IMX-101 az IM-technológiák⁴¹ új, következő generációs családjának része, amely új IM-robbanóanyag-összetevőket, például NTO-t és DNAN-t használ. Ha pontosítani szeretnék, akkor 2,4-dinitroanizolból (DNAN – 43,5%), nitrotriazolonból (NTO – 19,7%) és nitroguanidinből (NQ – 36,8%) áll.

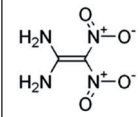
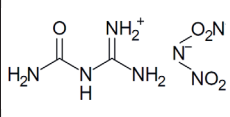
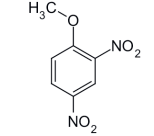
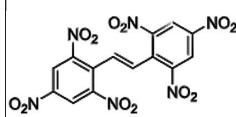
³⁹ PROVATAS–WALL 2014: 21.

⁴⁰ A BAE Systems termékismertetője alapján a szerző fordítása. Lásd: www.baesystems.com/en/feature/making-explosives-safer

⁴¹ IM, *insensitive munitions* – érzéketlen lőszer.

Az IMX-104-gyel is végeztek vizsgálatokat, de a jelenleg rendelkezésre álló információk még nem nyilvánosak, a termékről csak annyit tudni, hogy DNAN-t, NTO-t és RDX-et tartalmaz. Ha a fent leírt mintákat vesszük alapul, akkor valószínű, hogy a robbanóanyagok közötti különbség mindössze abból adódik, hogy milyen hadiipari termék töltetként kívánják alkalmazni.

4. táblázat: TNT kiváltására alkalmas érzéketlen robbanóanyagok

MEGNEVEZÉS	FOX-7	FOX-12	DNAN	JD-X
CAS-szám	145250-81-3	217464-38-5	119-27-7	20062-22-0
Kémiai képlet	$C_2H_4N_4O_4$	$C_7H_7N_7O_5$	$C_7H_5N_5O_5$	$C_{14}H_6N_6O_{12}$
Moláris tömeg	148,08	209,122	198,134	450,23
Sűrűség (g/cm ³)	1,885	1,760	1,336	1,7
Olvadáspont (°C)	238	225	94,5	316
Detonációs sebesség (m/s)	8335	8235	8436	7000
Szerkezeti képlet				

Forrás: a szerző szerkesztése

JD-X (HNS) – hexanitroszilbén

A trotilt kiindulási anyagként alkalmazó egylépéses eljárásban, nátrium-hipoklorit-oldattal történő oxidációval állítják elő. A reakcióból kinyerhető nagyon finom, sárgás narancssárga kristályos anyagot kizárólag a szennyeződésektől tisztítják meg, és HNS-I-ként emlegetik. Egy nagyobb szemcseméretű és nagyobb térfogat-sűrűségű, szabadon folyó szilárd anyag,⁴² amelyet a HNS-I átkristályosításával nyernek, a HNS-II.⁴³ Nagyon erős hőstabil robbanóanyag – a TNT-énél nagyobb a hőérzékenysége –, és kitűnő paraméterekkel rendelkezik az érzékenységvizsgálatok területén is. A robbanóanyagot a TNT öntésénél is alkalmazzák, ahogy a FOX-12-nél is említettem, a repedések megakadályozásának érdekében.

Nemcsak érzéketlensége és kiváló robbanási tulajdonságai, hanem hőstabilitása (akár 260 °C tartósan) is alkalmassá tette, hogy az Apollo-programban⁴⁴ és a holdon végzett szizmikus kísérleteknél is alkalmazzák.⁴⁵

Miután ismertettem ezeket az érzéketlen robbanóanyagokat – amelyek számos esetben alkalmasak például a trotilt kiváltására –, tekintsük át, hogy milyen területeken és eszközök-

⁴² Free-flowing solids: a szabadon folyó szilárd anyagok a folyadékokhoz hasonló tulajdonságokkal rendelkeznek, és elmeríthetik az embert, megakadályozva a légzést. Ezen szilárd anyagok közé tartoznak a gabona, cukor, liszt, homok, szénpor és egyéb porszerű vagy szemcsés anyagok, például kavics vagy talaj. Futóhomokként is emlegetik.

⁴³ A fellelhető szakirodalom jelentős része szerint a HNS-nek csak egy kristályos formája létezik, szobahőmérséklettől az olvadáspontjáig. SCHWARZ 1972.

⁴⁴ Apollo Lunar Surface Experiments Package – Apollo holdfelszíni kísérletek csomag.

⁴⁵ BEMENT 1970.

ben lehet ezeket felhasználni, alkalmazni, mindaddig, amíg egy újabb, jobb paraméterekkel rendelkező robbanóanyagot nem fejlesztenek ki.

Érzéketlen robbanóanyagok alkalmazásának lehetőségei

Az ismertetett robbanóanyagok felhasználási területe többnyire a hadiiparra korlátozódik, mivel ezeknek a termékeknek a paraméterei kiválóan megfelelnek a különböző robbanótestekkel szembeni követelményeknek. Az érzéketlen robbanóanyagok kifejlesztése, ahogy a bevezetőben is írtam, többnyire katasztrófákat követő vizsgálati eredmények hatására merült fel igényként. Ahogy az érzéketlen robbanóanyagok, úgy az érzéketlen lőszer fejlesztését is nem várt események, életeket követelő és a harcjárművek károsodásával járó robbanások követelték meg.

Megszámlálhatatlan példát találunk arra vonatkozóan, hogy egy-egy robbanótest, amely érzékenyebb volt a hőre és/vagy a mechanikai ütésekre, elműködött, ezzel elindítva egy emberi életeket követelő láncreakciót. Az Öbölháborúban például a harcjárművek károsodásának nagy részét saját hadianyag-rakományuk (lőszerkészletük) okozta, amit nem kívánt ingerek váltottak ki akaratlanul. A nem várt reakciókhoz (robbanásokhoz) nem is volt szükség feltétlenül arra, hogy közvetlenül a harc megvívása során következzenek be. Ez azért is fontos, mert a normál használati körülmények között ezek a robbanótestek, lőszer hatékonyak, mivel nagyon valószínűtlen, hogy a bennük található magas hatóerejű robbanóanyagok veszélyességének ellenére spontán felrobbannak.

Szándékosan hoztam a fenti példát, hiszen a harcjárművekben tárolt saját lőszerkészletek fokozott terheléseket kapnak egy ellenséges lövedék becsapódása következtében. Ha egy is elműködik, az további lőszerkeket indíthat el, ami a teljes készlet, a kezelőszemélyzet és a harcjármű megsemmisülését eredményezheti.

Ezeket a reakciókat úgy csökkenthetjük a legnagyobb mértékben, hogy a harcjármű lőszerkezeit újrakonfiguráljuk, vagy olyan anyagokkal csomagoljuk, választjuk el a lőszerkezt, amelyek meggátolják a reakció bekövetkezését. A probléma ebben az esetben a biztonság és a hatékonyság egyensúlyának elvesztése, hiszen a biztonság fokozásához a lőszerkészlet mennyiségének csökkentésén keresztül vezet az út. Ez volt az a problémakör, amely arra ösztönözte a kutatókat, hogy a robbanótestekben alkalmazott robbanóanyagot kevésbé érzékeny, de ugyanolyan hatékonyságú anyaggal helyettesítsék.

Az előzőekben már ismertettem azokat az anyagokat, amelyek a lövedékekben alkalmazott TNT kiváltására megfelelnek, és jobban ellenállnak a kedvezőtlen körülményeknek. Nemcsak a nagy erejű robbanóanyagok, hanem a lövegajtóanyagok és a rakéta-ajtóanyagok jelenleg használatban lévő, egy-, két- és hárombázisú alkotóelemei is helyettesíthetők más, energikusabb, de kevésbé érzékeny összetevőkkel.

Mit is jelent az érzéketlen lőszer kifejezés? Az érzéketlen lőszer „olyan lőszer, amely igény szerint megbízhatóan teljesíti a teljesítmény-, készenléti és műveleti követelményeket, és amely minimálisra csökkenti a fegyverplatformok, logisztikai rendszerek és a személyzet későbbi járulékos károsodásának valószínűségét és súlyosságát, ha meghatározott baleseti

és harci fenyegetéseknek vannak kitéve.⁴⁶ Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy az érzéketlen lőszer az őt alkalmazó, felhasználó személy által megjelölt cél elpusztításán kívül sem repesz vagy más lövedék közvetlen vagy közvetett hatására, sem szélsőséges hőmérséklet kialakulásának esetén nem fog felrobbanni.

Az érzéketlen lőszernek ez a tulajdonsága (megnövekedett biztonságérzet) teszi lehetővé nagy mennyiségű hadianyag (például rakéta) becsomagolását, kezelését, tárolását és szállítását akár a legszűkebb helyeken is. Az „érzéketlen lőszer” minősítés megszerzéséhez teljesíteni kell a STANAG 4439 – az érzéketlen lőszer bevezetésére és értékelésére vonatkozó eljárásrend⁴⁷ – szerint meghatározott követelményeket.

5. táblázat: Az érzéketlen lőszer meghatározására szolgáló vizsgálatok

VIZSGÁLATTÍPUS	VIZSGÁLATI INGEREK	VIZSGÁLATI ELJÁRÁSOK/MÓDSZEREK	MIL-STD-2105 C ⁴⁸
Termikus veszélyek	Gyorsfelfűtési-teszt	STANAG 4240 Fast Heating Test Procedures for Munitions	
	Lassúfűtési-teszt	STANAG 4382 Slow Heating Test Procedures for Munitions	
Mechanikus veszélyek	Lövedékbecsapódási-teszt	STANAG 4241 Bullet Impact Test Procedures for Munitions	
	Repszbecsapódási-teszt	STANAG 4496 Fragment Impact Test Procedures for Munitions	
	Kumulatívjet-becsapódási vizsgálat	STANAG 4526 Shaped Charge Jet Impact Test Procedures for Munitions	
Kombinált veszélyek	Együttes hatás tesztje	STANAG 4396 Sympathetic Reaction Test Procedures for Munitions	

Forrás: a szerző szerkesztése

Napjainkban számos ország végzi el a fent említett vizsgálatokat az általa fejlesztett robbanószerkezetekben (gránátokban, lőszerekben stb.). Azokat a „termékeket”, amelyek megfelelnek a követelményeknek, érzéketlen lőszernek lehet minősíteni, és így lehet őket forgalmazni. Mivel a vizsgálati anyagok megosztása kötelező érvényű, egyre több nyugati hadsereg alkalmaz ilyen lőszeret. A holland és a német hadseregben 155 mm-es IM jelölésű gránátok vannak rendszeresítve, a francia tüzérség rendelkezik francia gyártású XF sorozatú robbanóanyaggal töltött gránátokkal, a Magyar Honvédség talán Rh 26 és Rh 30 robbanóanyaggal töltött gránátokat is rendszeresít a PzH 2000-hez.

A publikációban is ismertetett robbanóanyagok közül a FOX-12 és az RDX 60/40% arányú keverékét például hajtóanyagként használják az UNIFLEX 2 IM moduláris tüzérségi töltetrendszerben, amelyet a BAE 155 mm/L52 Archer tarackban helyeztek el.⁴⁹

⁴⁶ A NATO terminológiai adatbázisában megfogalmazott definíció alapján a szerző fordítása.

⁴⁷ STANAG 4439 Policy for Introduction and Assessment of Insensitive Munitions (IM).

⁴⁸ Védelmi vizsgálati módszer szabványa: veszélyértékelési vizsgálatok nem nukleáris lőszerre.

⁴⁹ DAHLBERG 2020.



1. ábra: BAE 155 mm/L52 Archer tarack és a GUDN hajtóanyag elrendezése (az UNIFLEX 2 IM moduláris tüzérségi töltetben)

Forrás: DAHLBERG 2020 alapján a szerző szerkesztése

Az ALIMX-101-et, amely körülbelül 24% alumínium és 76% IMX-101 keveréke, jelenleg a H6 és PBXN-109 érzéketlen helyettesítőjeként vizsgálják az Mk82 típusú repeszromboló légibombákban.

A PAX-41 érzéketlen robbanóanyag – amelynek alkotóelemei között a DNAN, az MNA és az RDX durva és finom őrlményei is megtalálhatók – alkotóeleme a Spider XM-7 NCM⁵⁰ gránátjának.

A PAX-48 érzéketlen robbanóanyagot is azért hozták létre, hogy olyan speciális esetekben alkalmazzák, ahol a Composit B kiváltása a fő cél. Mivel a robbanóanyag a DNAN, az NTO és a HMX megfelelő arányú keveréke, így érzéketlen anyagjellemzői miatt kitűnően alkalmazható aknavető gránátok és harckocsilőszerkek fő tölteteként. Jelenleg típusminősítéssel rendelkezik a 120 mm IM HE-T nyomjelző lőszerhez.⁵¹

A tüzérségi és egyéb nagy kaliberű lőszeres esetében szintén a trotil kiváltásán alapult az új robbanóanyagok fejlesztése és alkalmazása, így az IMX-101 került számos lőszer belsejébe. Jelenleg az amerikai hadsereg elfogadta és használja az IMX-101 érzéketlen robbanóanyaggal szerelt M795 155 mm-es tüzérségi lövedéket. A haditengerészet valószínűleg költség-hatékonyság és egyéb, funkcionalitásból adódó érdekek miatt még mindig a TNT-vel szerelt változatot használja.

Az aknavető gránátok esetében a Composit B robbanóanyag kiváltása volt a fő célkitűzés, és az – RDX-, DNAN-, NTO-alapú – IMX-104 magas hatóerejű érzéketlen robbanóanyag biztosította ennek lehetőségét. A teszteredmények alapján a 60 mm-es, a 81 mm-es és a 120 mm-es aknavető gránátok adott típusainak esetében a típusminősítés folyamatban van.

⁵⁰ Network Command Munition.

⁵¹ 120 mm Insensitive Munition High Explosive-Tracer.

Az említett hadianyagok, valamint az IMX-101 és az IMX-104 robbanóanyagok esetében szükségesnek tartom megemlíteni a CLIMEx programot,⁵² amely a tüzérségi lőszerekben és aknavető gránátokban használt robbanóanyagokat és azok cseréjét vizsgálta. Összesen tizenöt, magas hatóerejű robbanóanyaggal szerelt lövedéket vizsgáltak.

6. táblázat: CLIMEx programok teszt eszközei

TÜZÉRSÉGI LÖVEDÉKEK (TNT helyett IMX-101)		AKNAVETŐ GRÁNÁTOK (Composit B helyett IMX-104)		
155 mm	105 mm	120 mm	81 mm	60 mm
HE-RA M549A1	HE-RA M927	HE M933	HE M821A2	HE M720
HE M795	HE-RA M913	HE M934	HE M889A1	HE M768
HE M107	HE M1	–	HE M889A1	HE M888
–	HE M760	–	–	–

Forrás: a szerző szerkesztése

A programnak két célkitűzése volt: egyetlen közös robbanóanyag kiválasztása minden tüzérségi lövedékhez és aknavető gránáthoz, illetve két önthető robbanóanyag kiválasztása, az egyik a trotil, a másik pedig a Composit B cseréjére. A teljes vizsgálati procedúra az üzembiztosság és a költséghatékonyság keretein belül zajlott.⁵³ A vizsgálatok részletei a hivatkozott irodalomban megtalálható linken elérhetők. A végső következtetésként az IMX-101-et választották a TNT helyettesítésére, és az IMX-104-et választották Composit B helyettesítő érzéketlen, magas hatóerejű robbanóanyagnak.

Említést kell tenni azokról a vizsgálatokról, kísérletekről, amelyek vagy nem az elvárt eredményt hozták, vagy nem költséghatékony a további fejlesztésük. A HNS fejlesztésénél végeztek kísérletet a kumulatív hatás előnyeit kihasználva lineáris vágótöltetekkel. A hegesztés nélküli alumíniummal burkolt, lineárisan alakított töltet⁵⁴ esetében nem a robbanóanyag, hanem a robbanótest kialakítása, méretezése jelentette a kihívást.⁵⁵ A nagy tisztaságú alumíniumburkolatot kedvező hőmérséklete, szilárdsága, illetve súlytulajdonságai miatt választották ki.

A töltetházak méretezésével, illetve a 3D-nyomtatás termékeinek alkalmazhatóságával kapcsolatban napjainkban is végeznek kísérleteket, mind katonai robbanóanyaggal (SEMTEX-H), mind többkomponensű, még kísérleti fázisban lévő robbanóanyaggal.⁵⁶

⁵² Common Low-cost Insensitive Munitions Explosive program.

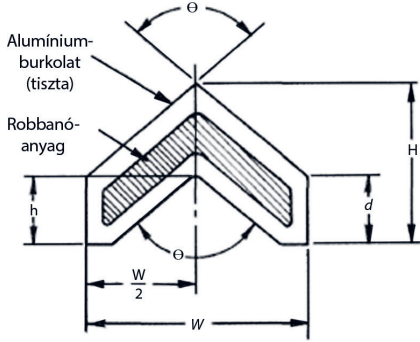
⁵³ PATEL 2011.

⁵⁴ ALSC, *aluminum-sheathed, linear shaped charge*.

⁵⁵ SCHWARZ 1972.

⁵⁶ KUGYELA 2019: 99–110; EMBER 2022: 13–23.

7. táblázat: Az ALSC keresztmetszeti mérete



Robbyanóanyag-töltet (grain/láb)	Méretezés				
	W (inch)	H (inch)	d	h (inch)	Θ (fok)
7	0,108±0,003	0,085±0,002	opcionális	0,035±0,003	95±5
10	0,130±0,004	0,098±0,003	opcionális	0,045±0,003	95±5
15	0,155±0,005	0,120±0,004	opcionális	0,053±0,003	95±5

A dimenziókat az eredeti anyagnak megfelelően (inch és fok) adtuk meg.
1 grain/láb = 0,000212594849 kg/m, 1 inch = 2,54 cm

Forrás: SCHWARZ 1972 alapján a szerző szerkesztése

Az aknavető gránátokban már alkalmazzák az érzéketlen robbanóanyagokat, és más területen is fontolóra vették azok bevezetését. A költség tényező természetesen minden esetben fontos, de a hatékonyabb robbanóanyagokra minden területen szükség lesz a jövőben is. A nagy testű harcokcsiaknak is potenciális célpontok lehetnek a fejlesztők számára. A terület folyamatos fejlődése, technológiai megújulása is nyomon követhető, de terjedelmi korlátok miatt ennek ismertetésére most nem vállalkozom.⁵⁷

A trolis és a Composit B alternatíváinak óriási jelentősége lehet a következő években, évtizedekben, hisz megszámlálhatatlan eszköz van jelenleg a világ számos pontján rendszerben és rendszeren kívül is, amelyeket még ezekkel az anyagokkal gyártottak.

Összefoglalás

A robbanóanyagok nagy tömegben történő szállítása, tárolása és alkalmazása már a 19. század végén is komoly fejtörést okozott mind polgári, mind katonai körökben. A tudományos vizsgálatok, az anyagok teljes körű megértése, a környezeti reakciók felismerése hozzásegítette az embereket, hogy a robbanóanyagokat hatékonyan és biztonságosan alkalmazzák az iparban és sajnos a hadi felhasználásban is.

⁵⁷ Kovács 2022a; Kovács 2022b.

A nagy tömegben tárolt, szállított vagy alkalmazás során felhalmozott robbanószerkezetek potenciális veszélyt jelentettek a fő töltetükként alkalmazott robbanóanyagok érzékenységének függvényében. A bekövetkezett balesetek, személyi és technikai veszteségek arra ösztönözték elsősorban a kutatólaboratóriumokat, hogy olyan robbanóanyagokat fejlesszenek ki, amelyek jellemzője, hogy rendkívül ellenálló a külső behatásokkal szemben (gyors és heves hőmérséklet-változás, erős mechanikai hatások, más fegyverek közeli detonációja, repeszek, tűz stb.), illetve ilyen esetekben csak nehezen gyulladnak meg vagy robbannak fel. Mindezt úgy kellett és kell napjainkban is elérniük, hogy a robbanószerkezetek élesített állapotban, rendeltetésszerű használat közben, vagyis az ellenséges célpont megsemmisítésére irányuló kísérlet esetén megfelelően működjenek.

Bemutattam néhányat azok közül az érzéketlen robbanóanyagok közül, amelyek képesek az érzéketlen robbanóanyagokkal szemben elvárt követelmények teljesítésére. Ismertettem azokat a vizsgálati szabványokat, amelyek segítségével az érzéketlen robbanóanyagokkal szerelt hadianyagok „érzéketlen lőszer” minősítést szerezhetnek. Végül bemutattam azokat az alkalmazási lehetőségeket, eszközöket – aknavető gránátokat és tűzérési lövedékeket –, amelyek sikeresen teljesítették az érzéketlen lőszerrel szemben elvárt szabványosított követelményeket azáltal, hogy a TNT és Composit B robbanóanyagból készült töltetüket más anyaggal helyettesítették.

Az érzéketlen robbanóanyagok láthatóan nemcsak önmagukban, mint a nagy hatóerejű robbanóanyagok, hanem a lövegajtóanyagok és a rakéta-hajtóanyagok területén is megjelennek. A folyamatos kísérletek, kutatások pedig abba az irányba mutatnak, hogy ezek az anyagok hamarosan a hadianyagok más típusaiban is megjelenhetnek. Mindezt úgy érthetik el, hogy az új, innovatív megoldások tükrében biztonságosabbak, költséghatékonyabbak, kevésbé terhelik a környezetet, és természetesen hatékonyabbak, mint azok az anyagok, amelyeknek a helyére kerültek.

Irodalomjegyzék

- 1947 Texas City Disaster – First Explosion. *Moore Memorial Public Library*. Online: www.texascitytx.gov/464/First-Explosion
- ADR International Recruiting Agency (2021): *Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road. Volume I*. Online: <https://unece.org/adr-2021-files>
- BEMENT, L. J. (1970): *Application of Temperature Resistant Explosives to NASA Missions, Proc. Symp. on Thermally Stable Explosives*. White Oak: Naval Ordnance Laboratory.
- BERGMAN, H. et al. (1999): *Some Initial Properties and Thermal Stability of FOX-7*. In: *Insensitive Munitions and Energetic Materials Symposium (NDIA)*, Tampa, Florida, USA.
- BOILEAU, Jacques et al. (2009): *Explosives – Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Online: https://doi.org/10.1002/14356007.a10_143.pub2
- DAHLBERG, Johan (2020): *New Low-Sensitivity Modular Charge Propellant Based on GUDN*. Online: https://imemg.org/wp-content/uploads/IMEMTS%202006_Dahlberg%20_paper_post.pdf
- DARUKA Norbert (2016): *Robbanóanyag-ipari alapanyagok és termékek osztályozásának lehetőségei. Műszaki Katonai Közlöny*, 26(1), 26–43. Online: <https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/mkk/article/view/2187/1456>

- DAVIES, Phil J. – PROVATAS, Arthur (2006): *Characterisation of 2,4-Dinitroanisole: An Ingredient for Use in Low Sensitivity Melt Cast Formulations*. Online: <https://web.archive.org/web/20160304041436/www.ntis.gov/assets/pdf/st-on-cd/ADA458880.pdf>
- EMBER István (2022): Hatásvizsgálati robbantás kumulatív töltetekkel. *Műszaki Katonai Közlöny*, 32(3), 13–23. Online: <https://doi.org/10.32562/mkk.2022.3.2>
- KOVÁCS Zoltán (2022a): Aknatelepítés: Keleten a helyzet jelentősen megváltozott 1. rész. *Haditechnika*, 56(3), 31–38. Online: <https://doi.org/10.23713/HT.56.3.06>
- KOVÁCS Zoltán (2022b): Aknatelepítés: Keleten a helyzet jelentősen megváltozott 2. rész. *Haditechnika*, 56(4), 31–37.
- KUGYELA Lóránd (2019): Experiments with Small Size Shaped Charges. *Hadmérnök*, 14(2), 99–110. Online: <https://doi.org/10.32567/hm.2019.2.8>
- LOCHERT, Ian J. (2001): *FOX-7 – A New Insensitive Explosive*. Fisherman's Bend, Victoria, Australia: Defence Science & Technology Organisation, DSTO-TR-1238 (36). Online: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a399359.pdf>
- LUKÁCS László (2008): A robbanóanyagok kialakulásának rövid története. *Műszaki Katonai Közlöny*, 28(1–4), 17–26. Online: <https://tinyurl.hu/u4ue>
- Nitrate Ship Blast at Brest Kills 8, Injures Hundreds. *The New York Times*, 1947. július 29. Online: www.nytimes.com/1947/07/29/archives/nitrate-ship-blast-at-brest-kills-8-injures-hundreds-port-and.html
- OSTMARK, H. et al. (1998): *FOX-7 – A New Explosive with Low Sensitivity and High Performance*. The 11th International Detonation Symposium, Colorado, USA.
- PATEL, Charlie (2011): *Common Low-cost IM Explosive Program*. Defense Technical Information Center. Online: <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA554406>
- PROVATAS, Arthur – WALL, Craig (2014): *Ageing of DNAN Based Melt-Cast Explosives*. Weapons and Combat Systems Division, Defence Science and Technology Organisation, DSTO-TN-1332 (36). Online: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA614943.pdf>
- SCHWARZ, Alfred C. (1972): *Application of Hexanitrostilbene (HNS) in Explosive Components*. Explosive Components Division, Sandia Laboratories, Albuquerque, SC-RR-710673. Online: <https://doi.org/10.2172/4666790>
- SJÖBERG, Per – ÖSTMARK, Henric – AMNÉUS, Anna-Maria (2010): *GUNTONAL – An Insensitive Melt Cast for Underwater Warheads*. Insensitive Munitions & Energetic Materials Technology symposium, Munich, 2010. október 11–14. Online: <https://tinyurl.hu/XvFd>