



## KUGYELA LÓRÁND

Ipari, valamint katasztrófa- és  
rendvédelmi felhasználású több  
komponensű robbanóanyag keverékek  
hazai fejlesztése, és azok vizsgálati és  
tanúsítási módszereinek kidolgozása.

Témavezető: Prof. Dr. Lukács László

Dr. habil. Szabó Gyula

**Nyilvános védés teljes bizottsága:**

Elnök:

Prof. emeritus Dr. Berek Lajos

Titkár:

Dr. Pető Richard

Tagok:

Dr. habil. Kerekes Zsuzsanna

Prof. Dr. Besenyő János

Dr. habil. Kovács Tünde Anna

Bírálok:

Dr. Kovács Zoltán

Dr. Daruka Norbert

**Nyilvános védés időpontja:**

- 2024 -

# TARTALOMJEGYZÉK

|   |    |
|---|----|
| BEVEZETÉS.....  | 5  |
| A tudományos probléma megfogalmazása.....   | 6  |
| Célkitűzések.....   | 8  |
| A téma kutatásának hipotézisei .....  | 9  |
| Kutatási módszerek.....   | 9  |
| 1    ROBBANÓANYAG KEVERÉKEK .....   | 12 |
| 1.1 Robbanóanyag keverékek története.....   | 12 |
| 1.2 A bináris robbanóanyag keverékek és felhasználási területeik .....                                | 18 |
| 1.2.1 Amerikai katonai alkalmazás.....  | 21 |
| 1.2.2 Bináris robbanóanyagok az ipari robbantástechnikában .....                                      | 21 |
| 1.2.3 Bináris robbanóanyag katonai és rendvédelmi alkalmazási lehetőségei a hazai gyakorlatban .....  | 22 |
| 1.3 A bináris robbanóanyagok összetevői, azok jellemzői.....  | 25 |
| 1.3.1 Nitroalkánok .....  | 27 |
| 1.3.2 Szervetlen nitrátok.....  | 29 |
| 1.4 A saját fejlesztésű több komponensű robbanóanyag (TKR) általános jellemzése.....                  | 32 |
| 2    ROBBANÓANYAG VIZSGÁLATOK.....  | 37 |
| 2.1 A robbanóanyag vizsgálatok polgári szabványi háttere és azok elemei.....                          | 37 |
| 2.2 A robbanóanyag vizsgálatok katonai szabványok (STANAG) szerint .....                              | 39 |
| 2.3 . A robbanóanyag vizsgálatok általános elemei.....  | 41 |
| 2.3.1 Hőállóság meghatározása (EN 13631-2:2003).....  | 44 |
| 2.3.2 A biztonság és a megbízhatóság meghatározása szélsőséges hőmérsékleteken (EN 13631-7:2004)..... | 45 |
| 2.3.3 Dörzsérzékenység meghatározása (EN 13631-3:2005).....   | 46 |
| 2.3.4 Sűrűség meghatározása (EN 13631-13:2003).....   | 49 |
| 2.3.5 Detonáció sebesség mérés (EN 13631-14:2003).....  | 50 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 2.3.6  | Detonációsebesség mérése kis átmérőben.....  | 52  |
| 2.3.7  | A gyújtás eszközeinek ellenőrzése (EN 13631-10).....                                   | 55  |
| 2.3.8  | Hess-féle brizancia mérése (MSZ 14-05065-89).....                                      | 55  |
| 2.3.9  | A mérési eredmények összesítése.....   | 58  |
| 2.4    | Terméktanúsítás, megfelelésértékelés, B-Modul .....                                    | 59  |
| 2.5    | . Gyártás ellenőrzésre vonatkozó másodlagos modul (D-modul) .....                      | 62  |
| 3      | A TKR SPECIÁLIS FELHASZNÁLÁSI LEHETŐSÉGEINEK VIZSGÁLATA                                | 65  |
| 3.1.   | Helyszínen tölthető kumulatív töltet készítése TKR-rel.....                            | 66  |
| 3.1.1. | Üreges töltetek működése, a kumuláció kialakulása .....                                | 66  |
| 3.1.2. | Üreges töltetek méretezése .....   | 69  |
| 3.1.3. | Üreges töltetekhez felhasznált robbanóanyagokkal szemben támasztott követelmények..... | 74  |
| 3.1.4. | Összpontosított kumulatív töltet készítése hagyományos robbanóanyag töltetekkel .....  | 78  |
| 3.1.5. | Kumulatív összpontosított töltet készítése TKR robbanóanyag töltettel..                | 81  |
| 3.1.6. | Kumulatív vágótöltet készítése TKR robbanóanyaggal .....                               | 84  |
| 3.2.   | A TKR robbantásos fémmegmunkáláshoz való felhasználhatóságának vizsgálata              | 85  |
| 3.2.1. | Robbantásos fémplattírozás TKR-rel .....   | 86  |
| 3.2.2. | Tengelyszimmetrikus cső plattírozás kísérleti vizsgálata TKR-el. ....                  | 88  |
| 3.3.   | Víznyomás töltet (water impulse charge).....   | 92  |
|        | ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK.....  | 96  |
|        | Új tudományos eredmények .....   | 102 |
|        | IRODALOMJEGYZÉK .....  | 104 |
|        | RÖVIDÍTÉSJEGYZÉK .....   | 115 |
|        | TÁBLÁZATJEGYZÉK .....  | 117 |
|        | ÁBRAJEGYZÉK .....  | 118 |
|        | MELLÉKLETEK .....  | 120 |
| 1.     | számú melléklet: A TKR bemutatója 2021. szeptember 28-án.....                          | 120 |

|  |     |
|--|-----|
| 2. számú melléklet: MH 1. Honvéd Tűzszerész és Hadihajós Ezred, tűzszerész szakembereinek tartott bemutató .....   | 120 |
| 3. számú melléklet: MH 5. Bocskai István Lövészdandár, Művelettámogató Műszaki Zászlóalj műszaki szakembereivel végrehajtott bemutató .....  | 121 |
| 4. számú melléklet: MH 2. vitéz Bertalan Árpád Különleges Rendeltetésű Dandár szakemberei részére szervezett bemutató, különleges műveleti feladatok ellátásához kapcsolódó tematika ..... | 122 |
| 5. számú melléklet: A TKR vizsgálataihoz felhasznált mérőeszközök ésvizsgáló eszköz képek.....   | 122 |
| 6. számú melléklet: Vizsgálati jegyzőkönyv modul-B.....  | 125 |
| 7. számú melléklet: Értékelő jelentés modul B .....  | 127 |
| 8.számú melléklet: Tanusítvány modul B .....   | 129 |
| KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS .....  | 132 |

## BEVEZETÉS

A robbanóanyagok fejlesztése a kezdetektől fogva kettős arcot mutat. Az egyik a hadviselés, a másik az ipari célú felhasználás. Az elsőt nem szükséges külön magyarázni, mivel a feketelőpor felfedezése után rövid időn belül rájöttek annak élet kioltására hasznosítható erejére, hogy aztán évszázadokon keresztül uralja a harctereket. A robbanóanyagok terén az igazi áttörés a XIX. században következett be, a kémia és fizika területén tapasztalható forradalmi felfedezések következtében. Szinte az összes mai napig is önállóan, vagy robbanóanyag keverékekben alkalmazott primer (iniciáló) és szekunder (brizáns) robbanóanyag ebben az időszakban jelent meg a durranóhiganytól a hexogénig. [1 pp. 33-35] Természetesen ezek szinte kivétel nélkül alkalmazásra kerültek a katonai gyakorlatban. Ugyanakkor egyre jelentősebbé vált a robbanóanyag fejlesztések másik iránya, az ipari robbantástechnika – katonai alkalmazástól eltérő - igényeinek megfelelő új anyagok keresésével. Ezen a területen a kezdeti időszakban a földfelszíni és a földalatti bányászat jelentette a fő felhasználót, aztán az újabb tudományos felfedezések következtében az ipar más területein is megjelentek – a sokszor egészen speciális – robbanóanyagok, hogy mára már az űrt is meghódítsák.

A hazai robbanóanyag kutatás-fejlesztés terén ki kell emelnünk azt a tényt, mely szerint Magyarország a XI.-XVIII. századok között Európa egyik bányászati nagyhatalma volt. A XIV.-XV. századokban európai uralkodók keresték fel országunkat bányász és kohász mesterembereket kérve hazai iparuk fellendítéséhez. 1627 február 23-án Weindl Gáspár a Felső-Bieber táróban végrehajtott robbantása a világon az elsőként számon tartott bányászati célú földalatti robbantása volt. A XVIII. századra átalakult hazánk európai pozíciója, de a gépesítés térhódításával és a nyersanyagipar fellendülésével az új korszak egészen az 1970-es évekig tartott, amiben hazánk úttörő, megbecsült szerepet töltött be nem csak a szocialista országok között, hanem világszerte is. Robbanóanyag gyáraink, vegyipari üzemek termékei ismertek voltak, melyek megbecsült szakmai háttérrel és utánpótlással rendelkeztek. Aztán a hazai bányászat hanyatlásával, a „nyugati” termékek beszivárgásával egyre fokozódó agónia az idő előrehaladtával a feledésbe lökte a fejlesztések igényét, térbeli-időbeli jelentőségét. Az utolsó jelentősebb fejlesztések a magyar robbantógépek terén történtek az 1970-1980-as években, de az első generációs

emulziós (akkor még inkább zagy típusú) robbanóanyagok megjelenésével és elterjedésével végleg térdre rogyott a vegyipar ezen szűk hazai szegmense.

Ebben az időtávban a legnagyobb nehézséget nem a régi és új technika közötti felzárkózás jelentette és jelenti ma is, hanem annak a korábbi több generációnyi robbanóanyag-ipari és robbantástechnikai szakembernek a hiánya, amelyet rövidtávon pótolni nem lehet. Hatalmas tudás, tapasztalat, affinitás tűnt el nyomtalanul. A fejlesztés iránti igény is átpolarizálódott, mivel napjainkban robbanóanyagot rendelni és szállítani akár másik kontinensről sem lehetetlen már, így a fogyasztói társadalomra jellemző módon a „*fejlesztés*” a „*megszerzés*” szavá alakult át. Ebben a speciális környezetben újat alkotni, annak jogos helyét a piaci szegmensben bizonyítani nem könnyű feladat. De ahogy a történelmi példák is bizonyítják, minden fejlesztés mögött egy sziklaszilárd gondolat, egy elképzelés bújkol meg valaki fejében, aki megingathatatlanul hisz abban, hogy az általa létrehozott új termék segít valakinek, vagy képes egy adott problémát az eddig alkalmazottaknál jobban megoldani. Ilyen gondolatként formálódott meg bennem egy olyan új, Magyarországon még soha nem alkalmazott, az önmagukban nem robbanóképes alkotó komponenseknek a felhasználás helyszínén történő összekeverése által kis töltet mennyiségben is létrehozható speciális robbanóanyag megalkotásának víziója. A később bemutatásra kerülő robbanóanyag keverő-töltő gépkocsik is a helyszínen „*gyártják*” az összetevőkből az ANDO, a Heavy ANDO és az emulziós robbanóanyagokat, de ezektől eltérő tulajdonságokkal bíró és más felhasználási területeken alkalmazható robbanóanyag megalkotása volt a cél. A feladat komoly kihívást jelentett, főleg a szakterület olyan fényes történelmi múltjának tükrében, amivel hazánk rendelkezik ezen a területen. Ugyanakkor az általam elvégzett munka egyúttal főhajtás is az elmúlt évszázadok szakemberei előtt.

### **A tudományos probléma megfogalmazása**

Az emberiség történetének legelső robbanóanyag keveréke a fekete lőpor volt. Ez a kálium-nitrátból, kénből és faszénből álló keverék több mint 1300 éve áll a harcászat alkalmazásában [1 pp. 29-30]. Ez idő alatt folyamatosan és több szempontból is fejlődésen ment keresztül. Egyik szempontból az alapvető összetevőinek változtatása egy sor új tulajdonságú keveréket eredményezett [2 pp.7-32] amelyek a mai napig használatban vannak. Ezek legfőképpen a műszaki pirotechnikához kapcsolódnak. Másodsorban a tudomány fejlődése miatt a képességeiket egyre szélesebb körben tudták alkalmazni. A kiterjedt harctéri alkalmazás után a bányászat területén is nagy áttörést hozott, amikor Weindl Gáspár, tiroli vájár a Biber-táróban lőporral sikeres kőzetjövésztést hajtott végre

[3 p. 171]. Használatát elősegítette, hogy égéséről, ezáltal munkavégző képességéről egyre több tudományos megfigyelés keletkezett, így már nem volt akadálya a széleskörű elterjedésének. Az Alfred Nobel által 1867-ben szabadalmaztatott gurdinamit elterjedéséig a feketelőpor volt az egyeduralgó a robbanóanyagok között. Mindezt úgy, hogy még mindig ugyanazt a három alapanyagot (kén, salétrom és faszén) tartalmazta. Eddigre alkalmazása már kiterjedt a civil mérnöki munka számos területére: robbantottak vele földet, követ, árkot, alagutat, de árvízi vészhelyzetben jeget is. Ezek alapján látható, hogy alkalmazása átpozícionálódott a civil területek felé. Immár nem csak harcászati feladatokra használták, hanem ipari folyamatok gyorsítására és azok produktívitásának elősegítésére.

A robbanóanyagok használatának speciális alkalmazásai leginkább a második világháború után jelentek meg. A geofizika, bányászat, anyagszerkezet kutatás, gyakorlati fizika, űrkutatás, katasztrófavédelem, rendvédelem csupa olyan terület, ahol jelentős eredmények születtek az utolsó 50 évben. Értekezésemben ezen utolsó két területhez kapcsolódó új robbanóanyag fejlesztését tűztem ki célul. Ezeknek a robbantási feladatoknak egyik legfőbb sajátossága, hogy azok tervezésére, illetve megvalósítására kevés idő áll rendelkezésre. Ezt a problémát a jogi környezet és a napjaink robbanóanyagokkal szembeni általános féleleme sem segíti elő. Éppen ezért a robbanóanyagokkal szemben általánosan támasztott követelmények mellett olyan igények jelentek meg, mint: olcsó előállíthatóság, nagyobb szavatossági idő, praktikus és egyszerű alkalmazhatóság, költséghatékony, és biztonságos tárolhatóság és szállíthatóság. Ilyen termék fejlesztéséhez a vizsgálatokat is az alapoktól kell kezdeni, a fent jelölt komplex követelmények teljesíthetősége miatt.

A kutatás során fejlesztésre kerülő kétkomponensű, gél állagú robbanóanyag nagy előnye többek között, hogy a komponensek önmagukban nem robbanásképesek, így a tárolásuk, és a felhasználási helyre történő szállításuk is biztonságos. A felhasználás előtt, a helyszínen történő egyszerű összekeverés által *"készül el"* a robbanóanyag, melynek további előnye a jelenleg alkalmazott, helyszíni bekeverésű robbanóanyagokhoz képest, a kis átmérőben való gyutacsindíthatóság.

Speciális ipari, valamint katasztrófa-, hon- és rendvédelmi felhasználású robbanóanyagokhoz önállóan ritkán történik robbanóanyag fejlesztés. Ez általában fordítva valósul meg, mely szerint a már meglévő robbanóanyagok közül próbálnak egy adott feladathoz megfelelőt választani, akár kompromisszumot is kötve az alkalmazhatóság egyes területein.



Értekezésem egy olyan kétkomponensű, helyszínen összeállítható, gyutacsérzékeny robbanóanyag keverék előállításával foglalkozik, amely több, újszerű előnyös tulajdonsággal is rendelkezik ehhez a területhez.

### **Célkitűzések**

A hagyományos értelemben vett robbanóanyagoktól eltérő módon, a kor követelményeit szem előtt tartva egy olyan – a speciális ipari, valamint katasztrófa-, hon- és rendvédelmi feladatok során egyszerűen és biztonságosan alkalmazható – kétkomponensű, a felhasználás helyszínén összeállítható, gyutacsérzékeny robbantástechnikai termék fejlesztése, ami szemléletben új irányvonalat és rugalmasságot biztosít az alkalmazása során úgy a tárolás, mint a szállítás és a felhasználás biztonsága tekintetében. A termék alapanyagai olyan iparilag könnyen elérhető anyagok legyenek, amelyek biztosítják a végtermék gazdaságos előállítását, továbbá a szállítás és a tárolás költségeinek jelentős redukálását.

Kutatásom során:

- tanulmányoztam a jelenlegi nemzetközi piaci helyzetet és az ott található hasonló robbanóanyagok tulajdonságait;
- megvizsgáltam milyen jogszabályi hézagok vannak jelenleg egy ilyen termék tanúsítását illetően;
- bemutatom, hogy a jelenlegi jogszabályi környezetben milyen vizsgálatok szükségesek egy robbanóanyag megfelelésértékeléséhez<sup>1</sup> [4];
- vizsgálati eredményeimet, ahol lehetséges összevetem a jelenlegi piacon található, hasonló robbanóanyag keverékekkel;
- bemutatom, hogy mely területek azok, amelyeken előnyösebb lehet az új termék alkalmazása a jelenleg használatban lévő robbanóanyagokkal szemben;
- kísérleti robbantásokkal bizonyítom az alkalmazás javasolható egyes területeit;
- az elvégzett kísérleteim/vizsgálataim eredményeit értelmezem és értékelem;

Egy önálló, piacképes robbanóanyag fejlesztése hatalmas, és szerteágazó munkát igényel. A szükséges vizsgálatok, azok eredményeinek értelmezése komplex feladat, amelyre ezen értekezés terjedelmi korlátjai nem elegendőek. A kutatás-fejlesztés során számos olyan eredmény született, amelynek további értékelése mind időben mind pedig tudományos

---

<sup>1</sup> Megfelelésértékelés: Olyan folyamat, amely bizonyítja, hogy a termékkel kapcsolatos meghatározott követelmények teljesültek.

szempontból ugyancsak túlmutat az igénybe vehető terjedelmen. A kifejlesztett új robbanóanyag lehetséges gyakorlati alkalmazási területeit bemutató kísérletek során nem volt – nem is lehetett – cél végleges termék, technológia fejlesztése. Ugyanakkor a gyakorlatban is bizonyítani kívántam, a kifejlesztett új robbanóanyag várható felhasználási területeken való alkalmazhatóságát.

### **A téma kutatásának hipotézisei**

1. Feltételezem, hogy a helyszínen előállítható többkomponensű úgynevezett bináris, vagy multikomponens<sup>2</sup> robbanóanyagok az elkövetkező évtizedben az eddigieknél is nagyobb szerepet kapnak úgy a katonai, mint az ipari robbantástechnikában.
2. A robbanóanyagok gyakorlatban történő alkalmazását úgy a nemzeti, mint a nemzetközi életben pontosan körül határolt szabványok, ezekben rögzített vizsgálati módszerek szabályozzák. Vélelmezem, hogy az európai jogrendből a bináris robbanóanyagok – mind a direktívát, mind a szabványokat tekintve – teljes mértékben kimaradtak.
3. Vélelmezem, hogy a robbanóanyagok fejlesztése során a fejlesztés eredményeit mindig a vonatkozó terület (katonai, civil) szabványi háttere szerint kell értékelni.
4. Feltételezem, hogy megfelelő alkotóelemekből a felhasználás helyszínén történő bekeveréssel előállítható olyan kis átmérőben gyutacsindítható, az ipari robbanóanyagokét meghaladó brizanciájú robbanóanyag, melynek segítségével ugyanott létrehozható tetszőleges formájú és tömegű robbanóanyag töltet, az előre gyártott csomagoló tartályok segítségével. Ez által azt nem kell robbanóanyagként tárolni és szállítani, ezzel jelentősen növelve a kezelésbiztonságát. Vélelmezem, hogy a termék a megfelelőség értékelés során, megfelel a vonatkozó követelményeknek.
5. Feltételezem, hogy van olyan piaci szegmens, robbantási terület, ahol ez a robbanóanyag előnyösen használható.

### **Kutatási módszerek**

2010-óta foglalkozom aktívan robbantástechnikával és pirotechnikával. Magyarországon az egyedüli pirotechnikai és robbanóanyag megfelelőségértékelő Bejelentett Szervezet<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> Multikomponens robbanóanyagok: olyan robbanóanyagok, amelyek nem tisztán egy robbanóanyagféleséget tartalmaznak, hanem több a végfelhasználó szempontjából előnyös tulajdonságot eredményező komponenst. Pl: oxidálószer, plasztifikáló anyag, érzéketlenítő adalék, fémpor stb.

laborvezetője vagyok. Európában, Amerikában, Indiában, Kínában, Indonéziában, Oroszországban auditáltam lőpor, pirotechnika és robbanóanyag gyártó vállalatokat. Az Európai Szabványügyi Bizottság (CEN)<sup>4</sup> polgári felhasználású robbanóanyagok szabványaival foglalkozó munkacsoportjának (TC/WG321)<sup>5</sup> tagjaként, jelenlegi elnökeként szintén széleskörű rálátásom van a robbanóanyag ipar fejlődésének nemzetközi tendenciáira. Az eddigi tanulmányaim (környezetgazdálkodási mérnök, robbanóanyag-ipari szakmérnök) is a robbanóanyagokkal kapcsolatosak.

Saját kutatási területem már 10 éve a bináris robbanóanyagok rendszerezése és fejlesztési lehetőségeinek kutatása. Munkám során törekedtem a szakterület széleskörű hazai és nemzetközi szakirodalmának megismerésére, feldolgozására. Nagy segítséget nyújtottak a hazai és nemzetközi konferenciákon tartott előadásaim során, a résztvevő szakemberekkel történő konzultációk, szakmai kapcsolatépítések.

Az értekezésemben felvetett hipotézisekre a válaszokat kettős rendszerrel kutattam. A téma egyedisége és a kutatás-fejlesztés sajátossága volt, hogy a teljes folyamatot gyakorlati vizsgálatok, kísérletek és azok eredményeinek értelmezése, értékelése alkotta.

[5 pp. 159-162]

Az alábbi empirikus kutatási módszerek alkalmazásával törekedtem objektív eredmények elérésére:

- Kísérletek, mint az értekezésemhez kapcsolódóan a legfontosabb módszer, mivel a robbanóanyagok megfeleléség értékelő folyamatai is konkrét vizsgálatokon alapulnak.
- Megfigyelés, vagyis azok a vizsgálatok, amelyek eredményei nem értelmezhetőek szabványok, rendeletek alapján.

Elméleti-logikai kutatási módszerek

- Analízis és szintézis módszerével vizsgáltam a robbanóanyagok gyakorlatban történő alkalmazását rögzítő nemzeti és nemzetközi szabványokat és az azokban rögzített vizsgálati módszereket, a bináris robbanóanyagokra vonatkozó szabályok meglétére.

---

<sup>3</sup> Bejelentett szervezet: Olyan megfeleléséértékelő szervezet, amelyet egy uniós tagállam jelöl ki arra, hogy értékelje bizonyos termékek megfeleléségét a forgalomba hozatal előtt. Angolul: Notified Body.

<sup>4</sup> Franciaül Comité Européen de Normalisation. Egy magánkezdemenyezésű nonprofit szervezet, mely feladatának tekinti, hogy az Európa-szerte elismert normák és szabványok elterjesztésével segítse az európai vállalatok és magánszemélyek tevékenységét.

<sup>5</sup> CEN/TC 321 Explosives for civil uses; civil robbanóanyagok szabványaival foglalkozó munkacsoport.

- A hipotézisben feltett kritériumok végső értékelésének és megválaszolásának eszközeként, a kísérletekből származó eredményeket és mért értékeket összevettem a már piacon lévő más robbanóanyag keverékekkel (összehasonlítás).

# 1 ROBBANÓANYAG KEVERÉKEK

A fejezetben bemutatom a robbanóanyag keverékek fejlődésének történetét és azok felhasználási területeit. Részletezem a bináris robbanóanyagok alkotó elemeinek főbb jellemzőit és a befejező részben bemutatom az általam fejlesztett új, több komponensű robbanóanyagot (TKR).

## 1.1 Robbanóanyag keverékek története

A feketelőporral kapcsolatban fontos tévhit, hogy az azt feltaláló kínaiak sokáig csak tűzijáték készítésre használták, azonban a Szung-dinasztia (Kr.u. 960-1279) korában a mongolok elleni harcaiban már a 900-as években bevezetésre került.

A keverékre történő első hivatkozás egy kb. a Kr.u. 900 években íródott „*A dolgok valódi eredetének titokzatos tao-jának minősített lényegei*”<sup>6</sup> című taoista alkimista könyvben található. Itt még leginkább, mint veszélyes keverék szerepel, amely hevesen ég és balesetet-sérülést okozhat [6]. Elterjedését és használatát, mint titkos fegyvert mi sem jelzi jobban, mint hogy 1076-ban a Szung-kormányzás szankcionálta az egyik fő alkotó elemnek, a kálium-nitrátnak az exportját. [7]

A feketelőpor civil alkalmazásának elterjedéséről nem is találunk történeti feljegyzéseket egészen 1627-ig. Az ötlet egyébként a bánya egyik résztulajdonosától, Montecuccoli bárótól (a híres hadvezér rokona) származott, aki úgy gondolta, hogy ha a várak ostrománál a falak alá ásott aknába helyezett lőpor robbantásával azok lerombolhatók, akkor a módszer működhet a kőbányászatban is.<sup>7</sup> 1638-ban már Angliában is használtak lőport a bányászatban, és ettől kezdve ezt a technológiát már nem csak a Selyemút mellett elhelyezkedő országok tudták használni, hanem tulajdonképpen egész Európa. A lőpor töltetek balesetmentes használatát, a William Bickford által 1831-ben szabadalmaztatott biztonsági gyújtózsínor megjelenése nagyban elősegítette.

A feketelőpor katonai és bányászati alkalmazása kizárólagos volt egészen 1846-ig, amikor Ascanio Sobrero olasz kémikus és fizikus, egy szívgyógyszer fejlesztési célú kísérletei során felfedezte a nitroglicerint (NG). Az új, magas hatóerejű robbanóanyag hatalmas előrelépést jelentett a robbantástechnikában, viszont gyakorlati felhasználása egyben

---

<sup>6</sup> Szabad fordításban.

<sup>7</sup> Bővebben lásd Lukács László: Szemelvények a hazai katonai robbantástechnika és a föld alatti aknaharc fejlődéstörténetéből. Budapest: Ludovika Egyetemi kiadó. 2022.

veszélyes is volt magas ütészékenységé miatt. A nitroglicerinnel gyártásban érdekelt Nobel család ezt saját tragédiáján keresztül is megtapasztalta, amikor 1864-ben felrobbant a heleneborgi robbanóanyag gyárak laboratóriuma, öt ember köztük a 21 éves Emil Nobel halálát okozva. Alfred Nobel 1867-en felfedezett guhrdinamitjában 75% nitroglicerint kevert 25% nagy nedvszívó képességű kovafölddel (szilícium dioxid) ezzel létrehozva az első biztonságosan felhasználható magas hatóerejű robbanóanyagot. A találmány olyan jónak bizonyult, hogy a szintén Nobel által, a nitroglicerinnel töltetek iniciálására kifejlesztett, csak lisztlőport tartalmazó gyutaccsal nem tudta felrobbantani. Csak újabb fejlesztései eredményeként meg a higany-fulminátot (durranóhigany) tartalmazó, a mai napig a gyutacsindítható robbanóanyagok etalonjának számító 8-as számú gyutacs<sup>8</sup>, mellyel már képes volt a guhrdinamitot is iniciálni. [8 p.171]

A vegyipar fejlődésével és kor kiváló kutatási lendületének köszönhetően megjelent a zselatinált nitroglicerinnel, majd pedig az ammon-dinamit<sup>9</sup>, amely már jóval biztonságosabb és olcsóbb volt elődjénél. Ennek prototípusát 1867-ben C. J. Ohlsson és J. H. Norrbin szabadalmaztatta. Így az első ammónium-nitrátot (AN) tartalmazó robbanóanyag a nevükhöz köthető. Robbanóanyaguk neve Ammoniakkrut volt. Ez a keverék 80% AN, 10-14% NG és 6-10% szén keveréke volt. Erőssége felülmúlta a guhrdinamitét, ezért nem is meglepő, hogy emiatt 1870 körül Nobel meg is vásárolta a két feltalálótól a szabadalmat, és annak higroszkóposságán javítva kialakította a klasszikus receptet, melyben az ammónium-nitrát gyutaccsal szembeni érzékenyítését és vízállóságát a zselatinált nitroglicerinnel biztosította [9 pp. 306-307].

A nagy porozitású ammónium-nitrát gyártását, először a Consolidated Mining and Smelting Co. of Canada kezdte el, és az ehhez fűződő szabadalmat 1943-ban nyújtották be. [10] Ez a porózus nagy olajfelvevő képességű AN képezte az 1950-es évektől elterjedő ANDO (ANFO)<sup>10</sup> robbanóanyag keverék fő alkotóelemét, amely azóta is a világon legtöbbször használt és szinte kiválthatatlan ipari robbanóanyag.

Az ANDO mellett fontos megemlíteni még 4 fő keveréket. Az ammonitokat<sup>11</sup>, a zagy típusú, az emulziós és brizáns robbanóanyag keverékeket.

Az ammonitok elterjedésének alapja az amatol<sup>12</sup> volt, amely a II. világháborúban tömegesen használták tüzérségi lövedékek és bombák töltésére. A különbség a civil

---

<sup>8</sup> Minden 8-as erősségű gyutacs robbanási energiájának – függetlenül annak összetételétől, felépítésétől – egyenértékűnek kell lennie 2 gramm durranóhiganyt tartalmazó gyutacsának robbanási energiájával.

<sup>9</sup> Ammon-dinamit: ammónium-nitrátot és zselatinált nitroglicerinnel tartalmazó kezelésbiztos robbanóanyag.

<sup>10</sup> ANDO-ANFO: ammónium-nitrát és dízel olaj, angolul ammonium-nitrate-fuel oil keverék robbanóanyag.

<sup>11</sup> Ammonit: Ammonium-nitrát TNT és egyéb inert anyag mint például fűrészpor, olaj keveréke.

változatban annyi volt, hogy itt az AN-t nem a TNT olvadékba keverték, hanem a végtermék egy homogenizált örlemény, melyeket különböző méretű papír vagy műanyag töltényekbe csomagoltak. [11] Gyutacsérzékeny robbanóanyag, amely még napjainkban is számos területen használatos. Gyártása jól illeszkedett a hidegháború utáni demilitarizációs hullámba, ahol a katonai robbanótestekből kinyert tiszta TNT-t tudták felhasználni a gyártásához. Felhasználási területük: föld alatti vágathajtás, épület-építményrobbantás és egyéb kis átmérőjű robbantási feladat. Ennek hazai fejlesztésű példája a MM Tammonit, amelyet a Mechanikai Művek 1995-1996 között fejlesztett ki a Magyar Honvédségből kivont szárazföldi aknák töltetéből kinyert, demilitarizált TNT polgári felhasználására, az ellátással küzdő magyar bányaiipar számára. [12 pp. 20-33] [1 p. 46]

A zagy (gél, slurry)<sup>13</sup> típusú robbanóanyagok tulajdonképpen az emulziós robbanóanyagok előfutárai. Összetevőit tekintve: oxidálószer (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, NaNO<sub>3</sub>) vizes oldatainak, gélesítő anyagnak és érzékenyítő anyagoknak (TNT, RDX, NC, NG) a keveréke. A zagy típusú robbanóanyagok szivattyúzhatóak, pumpálhatóak és vizes robbantólyukokban jobban használhatóak, mint az ANDO, ami elázás után akár robbanásképtelenné is válhat. Hátrányuk viszont, hogy 4°C alatt megdermednek illetve elveszítik robbanóképességüket. [1. p. 200] [13. pp. 22-83] Hazánkban az első képviselőik a: Nikwa-T; Nikwa-H, Nikwa-N, Nikwa-O. Nikwa-A<sup>14</sup> robbanóanyagok voltak. Fejlesztési munkáik a Nitrokémia Ipartelepek kutatólaboratóriumában kezdődtek. [14 pp. 85-95] [15 pp. 51-56]

A zagy típusú robbanóanyagok elterjedésének az emulziós robbanóanyagok megjelenése szabott gátat. Ezek az 1968-ban szabadalmaztatott robbanóanyag keverékek leszűrmazottjai. [16]

Az emulziós robbanóanyagok elterjedésében fontos szerepet játszott az emulgeálószer fejlődése, az addigi guargumi és xantángumi helyett megjelentek a stabilabb és jobb szerkezetű emulziókat adó PIBSA<sup>15</sup> SMO<sup>16</sup> vegyületek. Emellett felismerték, hogy az emulziós robbanóanyag gyutacs általi indíthatóságát mikrobalonok (üveggyöngy)<sup>17</sup> hozzáadásával el lehet érni. A mikrobalonok szerepe az emulzióban az, hogy az indítótöltet robbanásakor képződő lökeshullám által létrehozott nagy és gyorsan terjedő

---

<sup>12</sup> Amatol: Ammonium-nitrát és olvadt TNT keveréke.

<sup>13</sup> Zagy (gél): A név az angol „slurry” szóból ered, napjainkban inkább a víz gél „watergel” robbanóanyagokat értünk alatta.

<sup>14</sup> A szakirodalomban szerepeltek még Niqua és Niqva néven is.

<sup>15</sup> Poliizobutílenilszukcin-anhidrid.

<sup>16</sup> Szorbitán-monooleát.

<sup>17</sup> Boroszilikát üvegből készült 1-100 µm szemcseméretű, kis sűrűségű adalékszer. Angolul GMB (Gas Micro Bubbles).

nyomás hatására, a bennük lévő üregecskék energiakonzentrációt (ún. „*forró pontot*”) generálnak, amely elegendő a vele szomszédos robbanóanyagrészt detonációjához, ilyen módon a láncreakció továbbviteléhez. Az emulzióba kevert üvegyöngy mennyiségével egyben szabályozható a gyártott robbanóanyag iniciálhatósága, továbbá a külső hőmérsékletre való illesztése. Az emulziós robbanóanyagok összetevői hasonlóak a zagy típusú robbanóanyagokhoz, azonban ezek olaj-nitrát oldat emulziók, alacsonyabb víztartalommal, sűrűségük magasabb és gyárthatóak akár vágható szilárdságban is. Amennyiben indíthatóságukat mechanikai úton biztosítják, akkor jóval kevésbé érzékenyek az alacsony hőmérsékletre, mint a robbanóanyagok.

Az emulziós robbanóanyagok az elmúlt évtizedekben hatalmas változásokon mentek keresztül, és még ma is a fejlődés stádiumában vannak. Az üvegyöngyön kívül létezik a robbanóanyagok gázosított buborékokat tartalmazó változata is, melynél a gyártás során az anyaghoz kevert gázfejlesztő anyag segítségével hozzák létre a „forró pontokat” képező üregecskéket. Az emulziós robbanóanyagok jelenleg az ANDO mellett a legnagyobb piaci részesedéssel bírnak, mivel előállíthatóságuk olcsó, és kezelésük és alkalmazásuk is nagyon kedvező. [17 pp. 157-169] A dinamit típusú robbanóanyagokat szinte teljesen, az ammonitokat pedig jelentősen kiszorították a jelenlegi piacról. Hazai gyártású emulziók közül mindenképpen említést érdemel a Mikerobb Kft által gyártott, üvegyöngy érzékenyítésű ANDO EV és a korábbi Ipari Robbantó Kft., (majd Maxam Magyarország Kft.) által, a német WESTSPRENG GmbH. licensze alapján gyártott, gázbuborék érzékenyítésű EMULGIT. Sajnos egyik üzem sem gyárt már ilyen robbanóanyagot, a Mikerobb Kft. az emulziós mátrix, mint alapanyag gyártásának leállása, a Maxam Magyarország Kft. pedig a hazai gyártóüzem teljes felszámolása miatt.

Robbanóanyag keverékek között mindenképpen szót érdemelnek még a brizáns<sup>18</sup> robbanóanyag keverékek. Ezek alkotóelemeik önmagukban is robbanóanyagok, így a keverék előállításának nem az a célja, hogy robbanóképessé váljon hanem, például növekedjen hatóereje, vagy gazdaságosabb legyen előállítása. Honvédségi területen ezek többnyire trotil, hexogén, nitropenta, oktogén, keverékei. Civil területen egyedül a pentolit<sup>19</sup> keverékek vannak használatban vízhatlan booster<sup>20</sup> töltetek gyártásához.

Az emulziós robbanóanyagok ennek ellenére nem tűntek el a hazai bányászati gyakorlatból. Napjainkban a megnövekedett építőipari igények pozitív hatással vannak a

---

<sup>18</sup> Brizáns: nagy hatóerejű és munkavégző képességű robbanóanyag.

<sup>19</sup> Pentolit: TNT és PETN keveréke.

<sup>20</sup> Booster: indító töltet amelyet pl. ANFO biztonságos és megbízható indítására használnak.



külszíni bányászat által megtermelt nyersanyagok iránti keresletre. Ezek kinyerése sok esetben munkagépekkel végezhető (pl. a homok), de a mészkő vagy a bazalt csak robbantással termelhető ki gazdaságosan. Ehhez viszont a robbanóanyagot előállító üzemből el kell juttatni a felhasználás helyére ezt a speciális „*munkaeszköz*”. A robbanóanyagok közötti szállítása összetett feladat, amely egyaránt támaszt kritériumokat a végrehajtó személyzettel és a szállító járművel kapcsolatban. Mivel a bányavállalat munkája során egy-egy robbantási feladathoz különböző mennyiségű robbanóanyag felhasználása szükséges, ezért a gyártó vállalatától beérkező robbanóanyag az esetek döntő többségében raktárba kerül, ahonnan az adott feladathoz szükséges mennyiséget szállítják csak ki a bányaterületre. A robbanóanyag raktározása, a raktárak őrzés-védelmének megszervezése viszont szintén jogszabályban rögzített előírások szerint történik, és jelentős költségvonzatai vannak. A bánya költséghatékony művelése szempontjából teljesen logikus megoldásnak kínálkozna, ha a robbanóanyag szállítási és tárolási költségeit valamilyen módon csökkenteni lehetne. A skandináv országokban évtizedek óta használatban vannak, hazánkban azonban csak az elmúlt 5–10 évben jelentek meg a robbanóanyagokat a helyszínen bekeverni képes speciális járművek, az ún. MEMU<sup>21</sup>-k. Ezek a rakfelületükön külön-külön tároló rekeszekben elhelyezett (önmagukban nem robbanásveszélyes, így nem is robbanóanyagként tárolandó és szállítandó) alkotóelemekből a robbantás helyszínén, közvetlenül a fúrólyukba töltés előtt állítanak elő robbanóanyagot.

Ez lehet ANDO vagy emulziós robbanóanyag is, vagy a kettő keveréke, az ún. nehéz ANDO.<sup>22</sup>

Egy korábbi cikkemben a következők szerint mutattam be ezeket az eszközöket és alkalmazásukat. „Magyarország viszonylatban a külszíni bányaművelés során kerül a legnagyobb mennyiségű robbanóanyag felhasználásra. Ezekben a kőbányákban a szállításra 30%, a robbantásra kb. 11% költségmegoszlás jut [18]. Egy olyan bányaüzemben, ahol több 10 tonna robbanóanyagot használnak fel egy-egy robbantáshoz, ráadásul heti rendszerességgel, ott a költségmegtakarítás kritikus tényező. A skandináv országokban, Ausztráliában, az Amerikai Egyesült Államokban és Oroszországban évtizedek óta használnak robbanóanyag keverő-töltő kocsikat, a szállítási költségek csökkentése céljából.

---

<sup>21</sup> MEMU - Mobile Explosive Mixing Unit. Robbanóanyag keverő-töltő gépkocsi.

<sup>22</sup> Angolul heavy ANFO rövidítve: HANFO

A robbanóanyag keverő-töltő gépjármű tulajdonképpen egy mobil robbanóanyag gyártó-, keverő üzem, amelynek különböző tartályai tartalmazzák a robbanóanyag előállításához szükséges nem robbanó alapanyagokat, így az emulziós mátrixot (UN3375, vagy UN3139) és a porózus ammónium-nitrátot (UN1942). Ezekon kívül még dízelolajat, vizet, és az emulzió gázosodását, érzékenyítését [19] előidéző anyagokat.

Az emulziós mátrix fő összetevőit tekintve az alkotóelemek lehetnek: ammónium-nitrát (AN), víz, emulgeáló szer, nátrium-nitrit, és egyéb szerkezetjavító adalékszerek. A robbanóanyag közvetlenül a robbantás helyszínén kerül előállításra (bekeverésre) a fúrólyukba töltés közben. Az adalékok hatására pár perc eltelte után a teljes betöltött emulzió robbanóanyaggá alakul.

A járművek között létezik csak ANDO-t előállító keverőkocsi is. Ez a beletöltött porózus ammónium-nitrátot gázolajjal keveri össze egy adagolószerkezet segítségével, és azt kihordócsigával vagy pneumatikus úton továbbítja a robbantólyukba.

A keverő autó által készülhet tehát helyszíni keveréssel:

- ANDO. Ez a legrégebb óta használt keverék faja, ahol az ammónium-nitrát és dízel olaj keverését, majd a robbantólyukba töltését végzi az autó és személyzete.
  - Emulziós robbanóanyag. Elterjedten használt nagy bányákban külföldön, mivel vízállósága lényegesen jobb mint a hagyományos ANDO keverékeké.
  - Nehéz ANDO, amely ANDO, és emulzió keveréke. kémiai gázosítással vagy anélkül. Előfordul, hogy csak prillezett AN-t tartalmaz nem pedig ANDO-t [20]. Ez a felsorolt robbanóanyagok közül a legnagyobb sűrűségű és energiatartalmú robbanóanyag. Ezek a járművek képesek csak ANDO előállítására és töltésére is.
- [1 pp. 42-43]

Mind a három esetben a gyártott robbanóanyag gyutaccsal önállóan (általánosságban) nem, csak úgynevezett erősítő (booster) töltettel indítható.

A töltőkocsik felhasználása ott válik igazán előnyössé ahol külszíni bányákban rendszeresen akár heti több alkalommal robbantanak, és a közetszerkezet egységesebb. Minél repedezettebb, vagy kavernákkal tagoltabb a fúrólyuk, annál több emberi szakértelem kell a helyes töltéshez, és ezeken a helyeken a töltőkocsi automatikus töltőrendszere és mobilitása nem tud érvényesülni. Fontos kiemelni a töltőkocsi egyik legnagyobb előnyét, mégpedig azt, hogy a bennük található alapanyagok csak a robbanás helyszínén a keverés által válik robbanóanyaggá, azaz a telephely és bánya között a teherautó nem robbanóanyagot szállít.

A járművek rendelkeznek nagy térfogatú víztartállyal, amely kettős szerepet lát el. A töltési folyamat végén a tárolt vízzel elvégezhető a gép tisztítására, ugyanakkor havaria esetén az a kézi oltás lehetőségét is biztosítja (felszereltségtől függően az automata tűzoltórendszert látja el oltóvízzel).

Tekintve, hogy a munkafolyamatok magasabb hőmérséklet-tartományban történhetnek, az egész tároló rendszer (különös tekintettel az emulzióra) hőszigetelt tárolóban került elhelyezésre

A robbanóanyag töltőkocsi veszélyes áru szállítására kialakított, engedélyezésre kötelezett jármű, melyre az ADR 4.7; 5.3; 6.12; 9.1; 9.2; 9.3 fejezetei az irányadóak. A járműveknek az ADR EX/III követelményrendszerének, valamint a gépdirektívában támasztott követelményeknek kell megfelelniük. [22] A robbanóanyag szállításra szánt járművek lehetnek EX/II és EX/III jóváhagyásúak. Az első esetén nettó 1000 kg, a második esetben 16000 kg, az 1. osztályba tartozó robbanóanyag, szállítóegységenkénti megengedett legnagyobb tömeg szállítható. Mindemellett az éves műszaki felülvizsgálaton kell megfelelniük, az ADR 9. fejezetében foglalt követelményeknek. [23 pp. 162–177].

Külszíni robbantás esetén felhasználnak még erősítőtölteteket a fúrólyukba töltött robbanóanyag indítására. Ezek általában trotilból vagy nitropentából állnak, de felhasználnak érzékenyített gyári robbanóanyag-töltényeket is. Ezek kiváltására ugyancsak alkalmasak lehetnek a bináris robbanóanyagból készült indítótöltetek. Így a robbantás helyszínén az egyedüli, önmagában is robbanásra képes termék kizárólag a gyutacs, melynek szállítása már közel sem olyan körülményes, mint a több tonna robbanóanyagé.

## **1.2 A bináris robbanóanyag keverékek és felhasználási területeik**

A két, önmagában nem robbanó komponensből, a helyszínen összekeverve robbanóképes elegyet képző, ún. bináris robbanóanyag keverékekhez köthető első szabadalom még 1871-ben nyújtotta be Johann Philipp Sprengel, egy perklorát és szénhidrogének keverékéből álló robbanóanyag keverékre. [24 pp. 661–663] Robbanóanyaga nem terjedt el széleskörűen annak ellenére, hogy 1876-ban a new yorki East River tengerszorosnál mederbővítésnél nagy mennyiséget használtak fel belőle. A dinamit ugyanis addigra már egyeduralmukodóvá vált az ipari robbantástechnikában is.

A bináris robbanóanyagok köztudatba ültetése, elterjesztése és további szabadalmaztatása Gerald L. Hurst nevéhez fűződik. Az első szabadalma, a később ASTROLITE néven elterjedt robbanóanyag család volt. [25] Úgy a civil, mint a katonai szakemberek nagy várakozással tekintettek erre a robbanóanyagra. Az 1970-es években több hazai szakcikk is

foglalkozott az ASTROLITE gyakorlati alkalmazásával [26 pp. 31–32] [27 pp. 84–88]. Bruce cikkében ezt olvashatjuk az Astrolite-A robbanóanyagról: „*Hatása 3–5-szörösen múlja felül a 60% nitroglicerint tartalmazó lőporét, és 1,8–2-szeresen a trotilét. Kezelésbiztonsága 40-szer jobb az ütéssel szemben, mint a nitroglicerín-bázisú anyagoké. Romboláskor viszont háromszor akkora átmérőjű tölcserít hoz létre, mint a hexogén alapú C–4, és másképpen akkorát, mint a műanyagbázisú PBXN–I<sup>23</sup>, vagyis a korábbi legnagyobb hatású robbanóanyagok.*” [26 p. 31]

A robbanás helyszínén történő bekeverése egyszerű volt. Czapek Béla az egyik változatról, a SAF-T-PAK-ról így írt 1977-es cikkében. Az Egyesült Államokban a SAF-T-PAK néven forgalmazott kétkomponensű brizáns ipari robbanóanyag egyik összetevője granulált szilárd anyag, amelyet műanyagzsákba csomagolnak, a másik összetevő folyékony, és műanyag edényben tárolják. Külön-külön egyik komponens sem robbanékony, ezért nincs robbanóanyagnak minősítve. Az amerikai előírások szerint az anyagokat nem szükséges elkülönített raktárban tartani, de a két komponenst jól elkülönített, zárt edénybe kell tenni a véletlen összekeveredés vagy lopás elkerülésére. A SAF-T-PAK minden szállítóeszközön (repülőgépen is) korlátlan mennyiségben szállítható, csupán a legtöbb vegyi anyagra érvényes előírásokat kell betartani. A szilárd halmaz állapotú közeg oxidáló anyagként szerepel, ezért távol kell tartani tüztől, lángtól, szikrától. A folyékony komponens gyengén mérgező hatású ezért a belélegzést és a bőrérítkezést el kell kerülni. Amikor a folyékony komponenst hozzáöntik a szilárd közeghez, brizáns robbanóanyag keletkezik. A töltet aktiválódása megfigyelhető, amikor a sötét folyadék átszínezi a szilárd, világos színű komponenst és közben endoterm reakció (lehűlés) jön létre. Amint az aktiváló folyadék eléri a töltet alját, a robbanóanyag felhasználható. Átkeverés vagy rázás nem szükséges. Az összetevő komponens arányt nem szabad megváltoztatni. Az iniciálás módszere, hogy a töltetbe kell ragasztani vagy erősíteni kívülről egy 6. sz. gyutacsot, vagy robbanózsínort. [27 p.84]

Az ASTROLITE robbanóanyagok elterjedését az akadályozta, hogy az ammónium-nitrát mellett a másik alkotóeleme (az addig csak hipergolikus<sup>24</sup> rakéta-hajtóanyagként használt) hidrazin rákkeltő és kifejezetten mérgező vegyület. Az Amerikai Szárazföldi Haderő (US

---

<sup>23</sup> A polimerkötésű robbanóanyagok, más néven PBX vagy műanyagkötésű robbanóanyagok olyan robbanóanyagok, amelyekben a robbanóport kis mennyiségű (általában 5-10 tömegszázalék) szintetikus polimerrel kötik össze egy mátrixban. A PBX-eket általában olyan robbanóanyagokhoz használják, amelyeket nem könnyű öntvénybe olvasztani, vagy más módon nehéz megformálni. A PBX-et először 1952-ben fejlesztették ki a Los Alamos Nemzeti Laboratóriumban, dioctilftalát lágyítóval ellátott polisztirolba ágyazott hexogénként.

<sup>24</sup> A *hipergolikus* üzemanyagok spontán gyulladnak, ha az üzemanyag és az oxidálószer érintkezésbe kerül egymással.

Army) 1978-ban kísérleteket folytatott többféle robbanóanyag katonai alkalmazhatóságára, lövészgödrök kirobbantásánál. [28] Ezen belül először az Astrolite-G2 robbanóanyagot vizsgálták, de az több alapvető katonai kritériumnak sem felelt meg, úgymint a hideg hőmérsékleten való összekeverhetőség és a lövésállóság. Ezen kívül gondként jelölték meg az alacsony detonációsebességet és az anyag mérgező voltát. Ezért a gyártó Explosives Corporation of America (EXCOA) továbbfejlesztett robbanóanyagokkal jelentkezett LTX-G2 és LLTX-G2 néven, melyből az utóbbi vett részt a tesztben. Az 1978-as kísérlet egyik negatív megállapítása többek között az volt, *hogy a hidrazin és azok alkotóelemei köztudottan súlyos mérgező hatással rendelkeznek akár érintés, akár belélegzés, vagy lenyelés útján a szervezetbe jutva; a Picatinny Arsenál tesztben részvevő szakértője szerint, a lövészgödör LLTX-G2 robbanóanyaggal történt robbantásakor irritáló gáz, valószínűleg ammónia felszabadulását lehetett érezni.* [28 p.6]

A nitroparaffin<sup>25</sup> tartalmú többkomponensű robbanóanyag keverékeket Hurst 1970-ben szabadalmaztatta [29]. Ezekben a hidrazin helyett már xilol, szervesetlen nitrát és nitroparaffinok volt.

Disszertációm írásakor a következő bináris, több komponensű robbanóanyagokat alkalmazták a nemzetközi (elsősorban katonai) gyakorlatban.

| Név                         | Alkotóelemek       |                 |
|-----------------------------|--------------------|-----------------|
|                             | #1                 | #2              |
| Helix [30]                  | NM                 | Al              |
| FIXOR [31]                  | NM                 | GMB/Al          |
| Alford ALX [32]             | NM                 | HMTA            |
| Nitroroc                    | NM                 | EDA             |
| PLX                         | NM                 | EDA             |
| BLU-43 'Dragontooth'* (US)  | NM/NE              | DAP             |
| PFM-1* (RUS)                | TNP                | -               |
| Liquid Explosive Pouch [33] | NM                 | DETA            |
| BINEX [34]                  | NaClO <sub>4</sub> | Al              |
| U.S. Pat. No. 3,980,510     | NM                 | Hidrazin/DETA   |
| Hydan                       | AN                 | Hidrazin-hidrát |
| AEREX [35]                  | NM                 | Anilin          |

\*: bináris robbanóanyagot használó gyalogság elleni akna

1. táblázat: Napjainkban használt bináris robbanóanyagok<sup>26</sup>

<sup>25</sup> Nitroparaffin: nitro- funkciós csoportot tartalmazó alifás szerves vegyületek.

<sup>26</sup> Szerkesztette a szerző a gyártói adatlapok alapján.

A DETA, EDA érzékenyítő szerrel ellátott robbanóanyagok elterjedését gátolja, hogy mérgezőek. EDA: LD50: 500 mg/tkg; DETA:1080 mg/tkg; TETA: 2500 mg/tkg. A hidrazin tartalmú robbanóanyagokat erőteljesen mérgező mivoltijuk miatt már nem használják.

A következőkben vizsgáljuk meg, hogy mely területeken használhatók elsődlegesen a bináris robbanóanyagok. A felhasználási területek leírása célzottan a helyszíni keverésű robbanóanyagok felhasználási lehetőségeihez kapcsolódik.

### **1.2.1 Amerikai katonai alkalmazás**

A bináris robbanóanyagokkal és azok eredetével egy korábbi cikkemben foglalkoztam részletesen [36 pp. 58-75] mely szerint: A bináris robbanóanyagokat a mai napig szinte kizárólag az Amerikai Egyesült Államokban használják, többségében katonai robbantási feladatokra. Ezek jellemzően tűzszerész feladatok [37] az USA különböző külföldi katonai állomásai, bázisai közelében. Az ok, ami miatt egyre nagyobb jelentőséggel bír ezen robbanóanyagok használata: az olcsó alapanyagköltség, biztonságos közúti és légi szállítás. [38] Az 1980-as évek óta tartó használatuk mind a civil, mind a katonai területen bizonyította, hogy valóban biztonságosan és megbízhatóan használhatók ezek a robbanóanyagok. A robbanóanyag brizanciája alkalmassá teszi őket arra is, hogy a robbanószerkezeteket robbantással megsemmisítse, így a tűzszerészek is sok helyen alkalmazzák őket a világban [39] 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 számoltak be. [40]

### **1.2.2 Bináris robbanóanyagok az ipari robbantástechnikában**

Civil területen főként a következő feladatokhoz használják a bináris robbanóanyagokat: tuskórobbantás, batározás<sup>27</sup>, nyomvonal tisztítás, területrendezés. Alapvetően jellemző ezekre a feladatokra, hogy nem napi szintűek és nem tervezhetőek előre [41], ugyanakkor a robbanóanyag-igényük jellemzően nem nagy, általában csak néhány kilogramm. [42] Amerikában, napjainkban leginkább a következő feladatoknál használnak bináris robbanóanyagot:

- Csővezeték nyomvonal előkészítési munkáinál, munkagéppel nem kezelhető kőtömbök robbantásánál.

---

<sup>27</sup> Nagyméretű kőtömbök, kőgörgetegek robbantással történő darabolása.

- 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 fém plattírozás, vagyis fémlemezok robbantásos hegesztése. Ezek kis szériában készült termékek, amelyeket például reaktortechnológiához, agresszív vegyi anyagokat tároló nagyméretű tartályfenekhez, speciális csökötésekhez szupravezető kötések gyártásához alkalmaznak. Használatukkal lehetőség nyílik, konvencionális módon egymáshoz nem hegeszthető-köthető fémelemek gyártásához, mint például titán-alumínium, alumínium-vörösréz. [43] [44 pp. 194-242] [45 pp. 48-49]. Erről a területről és az általam kifejlesztett többkomponensű robbanóanyag ilyen feladatokhoz való alkalmazhatóságáról a harmadik fejezetben fejtem ki.

### **1.2.3 Bináris robbanóanyag katonai és rendvédelmi alkalmazási lehetőségei a hazai gyakorlatban**

A katonai felhasználás lehetőségét nagyban meghatározza, hogy a katonai robbanóanyagoknak különleges elvárásoknak kell megfelelniük az ipari robbanóanyaghoz viszonyítva. Ezek az elvárások harmóniában vannak a háborús viszonyokkal és egyéb felhasználási körülményekkel.

| Követelmény                           | Ipari robbanóanyag   | Katonai robbanóanyag  |
|---------------------------------------|--|---|
| <b>Teljesítmény</b>                   | nagy gázfejlődés és magas robbanáshő<br>= nagy robbanóerő (munkavégző<br>képesség)<br><br>Magas detonációsebesség nem<br>követelmény (kivéve a szeizmikus<br>kutatásokhoz) | függ az alkalmazástól:<br>aknák, bombák, tüzérségi löszerek,<br>rakéták<br><b>a./ harci fejek töltetei:</b><br>magas gáznyomás;<br>nagy gázfejlődés;<br>magas robbanáshő (magas<br>detonációsebesség nem követelmény)<br><b>b./ gránátok töltetei:</b><br>nagy repeszképző hatás<br>nagy töltési sűrűség<br>nagy detonációsebesség<br>közepes munkavégző képesség<br>elegendő<br><b>c./ kumulatív töltetek:</b><br>extrém magas sűrűség és<br>detonációsebesség (HMX- a legjobb)<br>magas hatóerő (brizancia) és<br>munkavégző képesség |
| <b>Érzékenység</b>                    | kezelésbiztonság<br>gyutacsérzékenység (kivéve a Memu<br>és ANDO)<br>stabil detonáció töltetoszlopokban  | amennyire csak lehetséges: érzéketlen;<br>tűzbiztos; ütésbiztos; lövésbiztos  |
| <b>Stabilitás és<br/>tárolhatóság</b> | minimum hat hónap tárolási idő,<br>semleges (nincs az alkotók között<br>savas vagy erősen korrozív anyag)  | 10 év vagy több a tárolási idő;<br>semleges, fémekkel nem reagál<br>alakítható  |
| <b>Vízállóság</b>                     | töltényezve 2 órát el kell viselnie<br>állóvízben (szeizmikus<br>robbanóanyagoknak többet).  | tökéletes vízállóság, legalább a<br>fegyverbe való betöltésig   |
| <b>Halmazállapot -<br/>állag</b>      | gyutacs behelyezésére alkalmas<br>konzisztencia, kialakítás  | öntött vagy préselt.  |
| <b>Hőtűrő képesség</b>                | -25°C-ig nem fagyhat meg;<br>+60°C-ig néhány órát ki kell bírnia.  | teljes működésképeség meg kell őriznie<br>-40°C és +60°C között, sőt különleges<br>esetekben e fölött is.   |

2.táblázat: Ipari és katonai robbanóanyagokkal szemben támasztott követelmények [46.  
p.135]

Van azonban néhány olyan eset, amikor ezeknek az elvárásoknak nincsen létjogosultsága. Hibásnak nevezhető az az elgondolás, hogy a kiképzési feladatokra békében alkalmasak a jóval olcsóbb ipari robbanóanyagok, hiszen a kiképzés lényege, hogy a valós felhasználás körülményeire készítse fel a résztvevőket.

Érdemes lehet megvizsgálni a bináris robbanóanyagok tüzszerész területen történő alkalmazásának lehetőségeit. Hazánkban a Magyar Honvédség katonái ezt a munkát közszolgálati feladatként végzik, mely a feladat súlyától függetlenül nem feltétlenül követeli meg a robbanóanyagok ilyen magas követelményű változatait. [47 pp. 59–63] Mivel a tevékenység kifejezetten nagy terhelést jelent a szakembereknek, melyet egyes napjainkban zajló környezeti események tovább növelhetnek, azt feltételezem, hogy az



alkalmazott robbanóanyagok felhasználási igénye növekedhet. [48 pp. 65–77]

A felhasználás volumene és üteme megnyithatja az alkalmazási lehetőséget a bináris robbanóanyagok előtt. Ez több előnyt is hordozhat. Mivel a Magyar Honvédség tüzserészei az ország minden részében végeznek hatástalanítást [49] valószínűsítem, hogy egy olyan biztonságosan szállítható bináris robbanóanyag bevezetése lehet az egyik legjobb megoldás, mely a helyszínen keverhető, összekeverésig pedig ártalmatlan, tehát önmagukban nem robbanásképesek a komponensei. Ez új szintre emelheti a szállítási biztonságot. A tüzserész katonák és rendőrök feladataik során felhasználhatnak különböző kumulatív tölteteket is, melyekkel precíziós robbantási feladatokat kell végrehajtaniuk akár fel nem robbant lőszer, bombák, akár egyéb különleges töltetű robbanótesteket hatástalanításakor. [50 pp. 50–63] Használatuk során jelentős költségek takaríthatóak meg, mert a tárolásuk nem igényel speciális körülményeket, mivel nem robbanóanyag tárolás történik. A két komponens tárolható akár külön tároló helyen is.

A tüzserészek és egy tüzserészcsoporthoz parancsnokának a felkészítése nagyon hosszú folyamat [51 pp. 99–110], melybe véleményem szerint beilleszthető lehet akár egy folyékony, több komponensű robbanóanyag alkalmazásának ismeretanyaga is. A helyszínen bekeverhető bináris robbanóanyaggal feltölthetőek lehetnek egyes előregyártott műanyag töltettestek (akár kumulatív, akár hasáb alakú), melyeket az adott feladathoz választhat ki az alkalmazó. Ezen lehetőségek mentén azt feltételezem, hogy mind a Rendőrség, mind a Magyar Honvédség tüzserészei számára alkalmas lehet egy ilyen speciális robbanóanyag a tüzserészfeladatok végzésének több területén. [52 pp. 66–77]

A robbanótestek bináris robbanóanyaggal történő helyszíni töltésének lehetősége nyilvánvalóan csökkentheti a szállítást, ideértve a légi szállítás költségeit, és növelheti azok biztonságát. Ebben a vonatkozásban a ballisztikusan alkalmazott, tehát kilőtt eszközök nem jöhetnek számításba. Folyadéktöltet alkalmazását kizárólag telepített robbanótestek, például aknák esetében látom megvalósíthatónak, de ennek kialakítása további komoly mérnöki munkát igényel.

A bináris robbanóanyagoknak a felhasználás helyszínére történő veszélytelen szállítása fontos szerepet kaphat a harcoló alakulatoknál is. Könnyen belátható, hogy az aknamentesítő, a speciális robbantó, a mélységi felderítő és a deszant alegységek feladat végrehajtása során milyen jelentősége lehet egy olyan robbanóanyagnak, melyet akár hátizsákban, kisebb töltetek esetén a ruházat zsebeiben úgy vihet magával a katona, hogy az ejtőernyős ugrás során, vagy tűzharcban nem kell attól tartania, hogy az bármilyen külső

behatásra felrobbanhat. Ugyanakkor elérve a cél objektumot, ott a kétféle alkotóelemet összekeverve, a környezeti hatásoknak (hőmérséklet, csapadék, stb.) ellenálló, gyutacsindítható robbanóanyaggal rendelkezik.

Összegezve kijelenthető, hogy a fegyveres testületek robbantási tevékenységeinek vannak olyan részterületei, ahol mérlegelni lehet az ilyen bináris robbanóanyagok alkalmazását. Ezek a részterületek specifikusak, és egyébként is nagy szakértelmet kívánnak, tehát a potenciális felhasználók jó alappal rendelkeznek egy modern robbanóanyag alkalmazásához. Fontos szempont, hogy a csomagolás miatt a bináris robbanóanyagok alkalmazása során szinte teljesen kizárható a vegyi anyaggal történő érintkezés, amely a robbanóanyaggal végzett munka közben jelentős kockázati tényező. [53 p. 97]

### **1.3 A bináris robbanóanyagok összetevői, azok jellemzői**

A bináris robbanóanyagokról és azok eredetéről a Katonai Logisztika folyóirat 2020. évi 4. számában megjelent cikkemben írtam részletesen. [36 p. 58-75] Az alábbiakban ezt tovább bővítve bemutatom e robbanóanyagok lehetséges alkotó elemeit, azok jellemzőit, tulajdonságait

A robbanóanyagot alkotó komponenseket értelmezhetjük tágabb (teoretikus) és szűkebb (gyakorlati) értelemben is. Tágabb értelemben minden környezeti vagy fizikai paramétert vehetünk egy komponensnek, mivel azok akár jelentős befolyással is lehetnek a robbanóanyag teljesítményére, illetve a robbanás során lezajló kémiai reakciókra.

*Tágabb (teoretikus) értelemben vett komponensek lehetnek:*

- a hőmérséklet (robbanóanyag hőmérséklete, környezeti hőmérséklet);
- a robbanóanyag átmérője (kritikus átmérő - határátmérő<sup>28</sup>);
- a robbanóanyag közvetlen környezete, beszorítottsága (szabadon, vagy fémcsőben, kőzetben fúrt lyukban);
- az iniciálás módja (gyutacs; booster);
- az iniciálás erőssége (égés - deflagráció<sup>29</sup> - detonáció<sup>30</sup>);
- a robbanóanyag halmazállapota (gáz, folyadék, szilárd).

*Szűkebb (gyakorlati értelemben vett) komponensek:*

---

<sup>28</sup> Kritikus átmérő, vagy határátmérő: Egy robbanóanyag azon minimális átmérője amelyen képes fenntartani a rá jellemző magasabb rendű égést, azaz detonációt.

<sup>29</sup> Deflagráció: heves égés. Jellemzője, hogy az égés még nem mechanikai ütőhullám által terjed hanem hőközlésre. nagyságrendileg 1000m/s körüli sebességű.

<sup>30</sup> Detonáció: A robbanóanyagra jellemző, mechanikai ütőhullámmal terjedő stabil égésforma. Több ezer m/s sebességű.

- az inert anyagok (fémpor; kötőanyag, térfogatnövelő, érzékenyítő, érzéketlenítő, stb.);
- valamilyen robbanóanyag.

A fenti tágabb megközelítés alapján, ha a robbanóanyagoktól független tényezőket is nézzük, akkor minden homogén robbanóanyag több komponensű, mert a robbanás fizikai és kémiai folyamatai függenek a külső feltételektől. Jelen esetben a szűkebb megközelítés, ami a disszertáció tárgyát képezi.

A bináris robbanóanyag, vagy kétkomponensű robbanóanyag fogalom az európai és a magyar szakirodalomban sem ismert. Robbanóanyagoknál történő említése 1970-ben Amerikában történt. KINEPAK néven került forgalomba. Ez a termék, két összetevőből álló külön csomagolásban tárolt, majd az összekeverésük után robbanóanyag-keverékké váló terméket jelentette.

Rakéták hajtóanyagainál a kétkomponensű hajtóanyagok régóta ismeretek. Ebben az esetben is azonos a tudományos háttér, mivel az oxidáló anyagot és a fűtőanyagot elkülönítve tárolták a rakétán belül, és az csak az égőtérben keveredett össze. [54]

A több komponensű robbanóanyagok (TKR), megnevezésük tekintetében a mai napig nem egységesek. A különböző szakirodalomokban előfordul a *kompozit robbanóanyag* [55 pp. 833-838] [56 p. 2] amelyet az oxidálószer és éghető anyag keverékére használtak, a „*multi-component explosive*” azaz *többkomponensű robbanóanyag* [30], vagy a *bináris robbanóanyag*, amelyet leginkább a KINEPAK keverékre alkalmaznak. Disszertáciomban a több komponensű robbanóanyag keverék megnevezést használom, mert a kifejlesztett robbanóanyag nem csak kettő, hanem több alkotóelemet is tartalmaz annak érdekében, hogy a végtermék szélesebb körben is felhasználási lehetőséggel bírjon. A fogalmak tisztázása és egységesítése azért is válik szükségessé, mivel különbséget kell tenni egy olyan robbanóanyag keverék, mint a PERMON 10T <sup>31</sup> vagy például az amerikai FIXOR <sup>32</sup> között. A lényegi különbség az első – és minden 1-es áruosztályba sorolandó robbanóanyag – valamint a második között, a robbanóanyaggá válás időpontja. Az első esetben a PERMON 10T legfőbb alkotóeleme, a TNT már előállítás után robbanóanyag és ez a teljes gyártási folyamat alatt megmarad. A FIXOR csak és kizárólag a helyszínen történő összekeverése után válik robbanóanyaggá. Ezzel az alapvető különbséggel határozott vonal húzható a robbanóanyag keverékek és bináris robbanóanyagok között.

---

<sup>31</sup> PERMON 10T: Ammónium-nitrát és TNT keverékéből álló bányászatban használt töltényezett robbanóanyag.

<sup>32</sup> FIXOR: Szervetlen nitrátok és Nitroetán keverékéből álló helyszíni keverésű robbanóanyag.

A disszertáció írása idején a helyszíni keverésű robbanóanyagokról szóló Európai Unió EN szabvány sem tér ki külön ezekre a robbanóanyagokra. Nomenklatúrájában szintén a „*multi-component explosives*” kifejezést használja.

A fent leírtak alapján, a továbblépéshez szükségesnek tartottam a több komponensű robbanóanyag (TKR) fogalmának a megalkotását: *olyan a helyszínen kézi erővel egyszerűen keverhető több komponensű, folyékony halmazállapotú<sup>33</sup> keverék, amely alkotóelemei önmagukban nem robbanóképesek, azonban összekeverésük után közvetlenül gyutacsérzékeny, kezelésbiztos robbanóanyag keveréket alkotnak.*

Bár a fentiek alapján többféle megközelítés létezik, egy paraméter azonban mindegyik esetében azonos. Csomagolási egységük két különálló, az inert anyagokat tartalmazó csomagból áll. Ezek közül az egyik csomagot, mely jellemzően a folyadék fázis a szilárd fázishoz keverve jön létre a gyutacsérzékeny robbanóanyag.

Hazánkban ennek csekély irodalma van [26 pp. 35-36] [27 pp. 84–88], gyakorlati alkalmazására pedig nem került sor. A kérdésről bővebben információkkal szolgál ezen kívül Lukács László tanulmánya. [57]

A következőkben felsorolt vegyi anyagokon kívül még számos reológiai adalék<sup>34</sup>, állagmódosító anyag, illetve adalékanyag lehet az alkotóelemek között. Ezek féltve őrzött titkok és a szabadalommal védett információk.

### **1.3.1 Nitroalkánok**

A nitroalkánok (régebbi nevükön: nitroparaffinok) folyékony nitro- csoportot tartalmazó alifás<sup>35</sup> vegyületek. A vegyiparban oldószerként, reagensként, szintézisekben széles körben alkalmazzák őket. Ezen kívül speciális modell üzemanyagokban vagy erős oxidálószerrel keverve rakéta hajtóanyagokban is felhasználják őket. A különböző aminokkal érzékenyített nitrometán a II. világháború idején már használta az amerikai hadsereg. A tiszta nitrometán robbanóképességére egy véletlen baleset révén derült fény.

1958. június 1-én az Illinois államban lévő Mont Pulaski pályaudvaron a lakk oldószerként tartálykocsiban szállított nitrometán robbant fel a leeresztés közben. [58] [59 pp. 28–35] A robbanás 30 méter széles, 40 méter hosszú és 11 méter mély gödröt hagyott hátra. 2 ember meghalt és 40 ember megsérült a 12 mérföld távolságban is hallott robbanásban. A baleset okaként a vizsgálatok az úgynevezett vízkalapács jelenséget tették felelőssé.

---

<sup>33</sup> Folyadékként önthető szilárd, tixotróp halmazállapotú.

<sup>34</sup> Reológiai: anyagok folyási tulajdonságait megváltoztató adalék.

<sup>35</sup> Alifás: a szén aromás csoportot nem tartalmazó szerves vegyületei.

A leeresztéskor a nagy átmérőjű csapot hirtelen zárták el és a szerelvénybe ütköző folyadék tömegben kavitáció lépett fel. A folyadékban kiváló gázbuborékokban a hirtelen nyomásnövekedés és adiabatikus kompresszió miatt a hőmérséklet annyira megemelkedett, hogy az elérte a nitrometán gyulladáshőmérsékletét, amely a rendszer adiabatikus sajátossága miatt égés-deflagráció-detonáció fázis sorozaton átváltva teljes tömegben felrobbant.

A három nitro-vegyület közül a nitrometánt (NM) használják leginkább a robbantástechnikában. Nitroetánból (NE) készült robbanóanyag keverék a kanadai Mrel FIXOR néven forgalmazott terméke, azonban a NE lényegesen mérgezőbb, mint a NM, valamint robbantástechnikai paraméterei is elmaradnak a nitrometánétól. A nitropropán (NP) már oxidáló szerrel keverve is nehezen iniciálható, azt adalékszerként, inhibitorként és fagyáspont csökkentő adalékként használják NM mellé.

A 3 legfontosabb nitroparaffin (NM, NE, NP) tulajdonságai az alábbi táblázatban találhatóak.

| Tulajdonság                 | Mértékegység         | Nitrometán                      | Nitroetán                                     | Nitropropán                                   |
|-----------------------------|----------------------|---------------------------------|---|---|
| Kémiai képlet               | [-]                  | CH <sub>3</sub> NO <sub>2</sub> | C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>2</sub> | C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>2</sub> |
| Sűrűség                     | [g/cm <sub>3</sub> ] | 1,13                            | 1,05  | 1,03  |
| Olvadáspont                 | [°C]                 | -28,55                          | -89,52  | -108  |
| Forráspont                  | [°C]                 | 101,2                           | 114-115                                       | 120,2   |
| Lobbanáspont                | [°C]                 | 43                              | 40-41   | 24  |
| Moláris tömeg               | [g/mol]              | 61,04                           | 75,07   | 89,09   |
| Oxigén egyenleg             | [%]                  | -39,3                           | -95,9   | -134,8  |
| Képződéshő                  | [kJ/mol]             | -112,97                         | -143,93                                       | -167,6  |
| LD50 per oral <sup>36</sup> | [mg/kg]              | 940                             | 310   | 720   |

3. táblázat: A három legfontosabb nitroparaffin tulajdonságai<sup>37</sup> [55]

A fenti nitroalkánok közül a robbantástechnikában legnagyobb jelentőséggel a nitrometán bír, így közülük csak erről írok.

### Nitrometán (NM)

Szintelen, aromás szagú áttetsző gyúlékony folyadék, régebbi neve: nitrokarbol. Sok szerves oldószerrel elegyedik, poláris aprotikus oldószer. Etanolban, etil-éterben, acetonban, szén-tetrakloridban oldódik, vízben részlegesen oldódik (~10g/100 ml). Legnagyobb mennyiségben ipari oldószerekhez, cianoakrilát ragasztók, viaszok, polimerek oldószereként használják. Gépjárműtechnikában hidraulika folyadékokban,

<sup>36</sup> <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/> oldal adatai alapján. Letöltés: 2023 01 29

<sup>37</sup> A hivatkozott irodalom, alapján a szerző szerkesztette.

fékfolyadékban, égéstér tisztító adalékokban alkalmazzák. Metanollal, ricinus olajjal keverve elterjedt RC modell<sup>38</sup> üzemanyag. Gyógyszeripari szintézisekhez is felhasználják. Robbantástechnikai felhasználási mennyisége emellett elenyésző. A szabályozottól eltérő alkalmazásának eredményét azonban 1995-ben, az Oklahoma City-ben lévő Alfred P. Murrah szövetségi épület elleni terrorista robbantáskor láthattuk, amikor az ammónium nitrátból és nitrometánból összekevert 2300 kg robbanóanyaggal elkövetett merénylet 168 ember halálát követelte.

A nitrometánt előszeretettel használják robbanásfizikai tudományos kutatásokban is mivel, könnyű beszerezhetősége, egyenletes és stabil detonációja alkalmassá teszi modell kísérletekre, ahol a reakciózóna, a detonációs hullámfront vagy annak robbanóanyagban történő haladásának megfigyelése a cél. Robbanóanyagként történő széleskörű felhasználását az akadályozza leginkább, hogy alacsony a forráspontja és az elpárolgó NM robbanásveszélyes, Gőznyomása alacsony, az elpárolgott nitrometán nehezebb, mint a levegő.

### 1.3.2 Szervetlen nitrátok

A legfontosabb négy idetartozó vegyület: az ammónium-nitrát , nátrium-nitrát , kalcium-nitrát, és a kálium-nitrát. Ezen vegyületeknek a dolgozatomban szemszögéből fontos tulajdonságait az alábbi táblázat tartalmazza.

|                                   | NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> | NaNO <sub>3</sub> | Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O | KNO <sub>3</sub> |
|-----------------------------------|---------------------------------|-------------------|---|------------------|
| <b>Sűrűség [g/cm<sub>3</sub>]</b> | 1,72                            | 2,26              | 1,86  | 2,1              |
| <b>Moláris tömeg [g/mol]</b>      | 80,043                          | 84,9947           | 164,088   | 101,103          |
| <b>Képződéshő [kJ/mol]</b>        | -365,26                         | -446              | -236,15   | -494             |
| <b>Oxigénegyenleg</b>             | 20                              | 47                | 48,7  | 39,5             |
| <b>LD50 érték [mg/kg]</b>         | 2950                            | 3430              | 3900  | 3540             |

4.táblázat: Szervetlen nitrátok fontosabb tulajdonságai

A szervetlen-nitrátok legfontosabb felhasználási területe a mezőgazdaság. A tápanyag visszapótlás tekintetében a legnagyobb tömegben felhasznált vegyület az ammónium-nitrát. Emellett a kálium-nitrát jelentősége is kimagasló, mivel a nitrogén mellett elsődleges mikroelemet [60] (K) is tartalmazó terméskövelő anyag. Főként ammónium-nitráttal keverve használják fel a kalcium-nitrátot (CAN). A nátrium-nitrátot szintén keverékekben használják. Robbantástechnikai szempontból a legnagyobb jelentőséggel az ammónium-nitrát bír.

<sup>38</sup> RC modellezés: Radio Controlled azaz rádiófrekvenciás modellezés ahol a pár köbcentis belsőégésű motorok üzemanyaga sok esetben NM tartalmú speciális keverék.

## **Ammónium-nitrát (AN)**

Színtelen-fehér szagtalan erősen higroszkópos ionos szilárd vegyület. Ammónia és salétromsav sója, iparilag földgázból a Haber-Bosch eljárással állítják elő. Az ammóniumnitrát és dízelolaj keverékéből álló robbanóanyagok a felfedezése ugyanúgy egy balesethez kapcsolódik, mint a fent bemutatott nitrometáné: az Amerikai Egyesült Államok (Texas City),<sup>39</sup> illetve Franciaország (Brest)<sup>40</sup> tengeri kikötőiben, 1947-ben bekövetkezett hatalmas robbanásokhoz kapcsolódik. Mindkét helyen az európai újjáépítéshez szállítandó ammóniumnitrát műtrágya robbant fel, a tároló papírzsákok meggyulladására miatt. A vizsgálatok kiderítették, hogy az erősen higroszkopikus ammóniumnitráthoz a tengeri szállítás során a nedvességtől való megóvása érdekében mintegy 0,8-1,0%, paraffinból és petróleumszármazékból álló adalékanyagot keverték. Az összesen több mint 6000 tonna „műtrágya” illetően való felrobbanása igencsak felkeltette a robbanóanyag-ipari szakemberek figyelmét, és ennek eredményeként született meg az ANDO/ANFO néven ismert – elsősorban ipari felhasználású – robbanóanyag, mely alapváltozatában 94% ammóniumnitrátból és 6% gázolajból készül.

Az ammónium-nitrát korlátlan mennyiségben és formában, gazdaságosan előállítható szilárd oxidálószer, két fő felhasználási területe a mezőgazdaság és a robbanóanyag ipar. Az ANDO/ANFO, az elterjedése óta a legnagyobb mennyiségben felhasznált robbanóanyag annak ellenére, hogy szinte kizárólag csak az ipari robbantástechnikában alkalmazzák. Szilárd fázisban, az ammónium-nitrát dízelolaj keverékhez, oldat formában pedig az emulziós robbanóanyagok előállításához használják. Teljes mértékben történő kiváltására az ipari robbantástechnika területén még sokáig kell várni, jelenleg nincs olyan vegyület, amely tudná helyettesíteni. Hidrogén-peroxid bázisú emulziós robbanóanyagok megjelentek ugyan, azonban alkalmazhatóságuk jelentősen korlátozott. A fent említett oklahomai terrorrobbantás után az áldozatok hozzátartozói vizsgálatot és kártérítést követeltek az ammónium-nitrát műtrágyát gyártóktól arra hivatkozva, hogy veszélytelenebb alkotóelem alkalmazásával elkerülhető lett volna a tragédia. Az amerikai Exponent Inc. által elvégzett 30 kg-os töltetek összehasonlító robbantásai eredménye az volt, hogy a helyettesítőként számba jöhető mono-ammónium foszfát és a diammonium foszfát nitrometánnal keverve, az ammónium-nitrátos robbanóanyaggal azonos, sőt esetleg azt meg is haladó pusztítást okoztak.

---

<sup>39</sup> Az 1947. április 16-án és 17-én az SS Grandchamp és az SS Highflyer fedélzetein bekövetkezett robbanások 567 ember életét követelték.

<sup>40</sup> 1947. július 28-án az SS Ocean Liberty robbant fel.

Az ammónium-nitrátot az angol hadsereg elterjedten használta az I. világháború alatt tüzérségi lőszer töltésére, a trotilal keverék amatolban. [53 p. 1190] Napjainkban már nem használják, szinte teljes mértékben kiszorította a hexogén és trotil keveréke a Kompozit-B (Comp-B). Az ammónium-nitrát bázisú robbanóanyagok katonai földrobbantási feladatokra való alkalmazásának lehetőségeit a Magyar Honvédségnél Lukács László részletesen vizsgálta. [1 pp. 199-200] Használatát leginkább rövid idejű tárolhatósága és vízben való oldhatósága korlátozza. Napjainkban már a vegyipar fejlettsége lehetővé teszi a hexogén és a trotil gazdaságosabb és nagyobb volumenű gyártását. Ezek a robbanóanyagok nagyobb hatóerejűek, teljesen vízállóak, gyutacsindíthatóak és egyszerűbb kezelhetőséggel rendelkeznek. Tárolhatósági idejük több év, szemben az ammónium-nitrátos robbanóanyagokéval.

Amerikában már elkezdődött a TNT és RDX bizonyos szinten történő kiváltása is. [61] Helyettük a kezelésbiztosabb IMX-101<sup>41</sup> robbanóanyag keveréket kezdték el használni tüzérségi lőszerekben. Ez a keverék megőrzi a Comp-B hatóerejét, de ellenálló olyan mechanikai behatásokkal szemben, mint például rálövés vagy elejtés. Ami miatt a mai napig számolnak az AN bázisú robbanóanyagokkal az a korlátlan elérhetősége és olcsósága. Sok hadsereg a felhasználható robbanóanyagok diverzifikáltsága mellett döntött, hogy kritikus helyzetben ne legyen a katonák képzése szigorúan csak egy robbanóanyag csoportra korlátozva. Képesek legyenek szükség szerint akár AN-el is elvégezni műszaki robbantási feladatokat. Így például az 1992-ben kiadott amerikai FM 5-250 Robbantási szabályzat [62] ugyanúgy bemutatja az ANFO robbanóanyagot, mint az Egyesült Királyság 1988-ban kiadott műszaki szakutasításának Robbantás kötete [63]. Ez utóbbi három és fél oldalon keresztül közli nagy pontossággal az ANFO robbanóanyag jellemzőit és előállítását. Azt is kiemeli, hogy a mezőgazdasági műtrágya nem alkalmas robbanóanyag gyártásra, mivel egyéb összetevői olyan reakciót idéznek elő, amely veszélyessé teheti a folyamatot (ezért tiszta ammóniumnitrát prill-t kell használni).

### **Kalcium-nitrát, (norvég salétrom, CN)**

Fehér vagy világosszürke szagtalan higroszkópos ionos szilárd vegyület. Ipari körülmények között mészkő és salétromsav reagáltatásával állítják elő. Folyékony műtrágyák alkotóeleme, főleg hidrokultúrás termesztési rendszerekben. Emellett szennyvízkezelésben, és a betongyártás adalékaként használnak fel jelentősebb mennyiséget. Önmagában robbanóanyagokhoz nem használják, azonban fontos adalékszer,

---

<sup>41</sup> IMX-101: Insensitive Munitions eXplosive, 2,4-dinitroanizol (DNAN), nitrotriazol (NTO) és nitroguanidin (NQ) keveréke.



mivel az AN-al eutektikumot képez és ez által alacsonyabb hőmérsékleten történik meg az oldat kikristályosodása [64 p. 62]. Ezt a tulajdonságot kifejezetten az emulziók esetében használják ki.

#### **Nátrium-nitrát (chilei salétrom, NN)**

Fehér színű kristályos szagtalan higroszkópos szilárd vegyület. Természetben is előfordul Dél-Amerikában bányászták az XX. század közepéig. Napjainkban salétromsav és nátrium-karbonát vagy nátrium-bikarbonát reakciójával állítják elő. Felhasználják az élelmiszeriparban tartósítószerként, naperőművekben hőtárolásra, pirotechnikában, illetve különböző vegyipari adalékszerként. Szintén adalékként használják robbanóanyag emulziókhoz, mivel stabilizálja a robbanóanyag iniciálhatóságát, csökkenti a kritikus átmérőt. Szintén fontos szerepe van a helyszíni keverésű emulziós robbanóanyagok kémiai úton történő gázosítása (érzékenyítése) terén, mivel az AN-al reakcióba lépve és valamely savval (általában ecetsav) katalizálva jön létre az érzékenyített emulziós mátrix.

#### **Kálium-nitrát (salétrom, KN)**

Fehér-piszkos vagy fehér kristályos szagtalan nem higroszkópos szilárd vegyület. Természetben megtalálható volt a guanóban, a feketelőpor gyártásának kezdetén ez volt az elsődleges forrás. Azonban később a  $\text{NaNO}_3$  és  $\text{KCl}$  vagy  $\text{K}_2\text{CO}_3$  reakciójával állították elő. Napjainkban  $\text{KCl}$  és  $\text{HNO}_3$ , vagy  $\text{HNO}_3$  és  $\text{K}_2\text{CO}_3$  reakciójával gyártják. A szerves nitrátok közül a legszélesebb felhasználási körrel rendelkezik. Kiemelt fontosságú a mezőgazdasági és a pirotechnikai felhasználása. Nem csak, mint feketelőpor alapanyag, hanem különböző pirotechnikai keverékek oxidálószerként is nagy jelentőséggel bír. Emellett: tisztítószerekben, gyógyszeriparban, üveggyártásban, naperőművekben hőtárolásra, élelmiszer adalékként is széleskörűen felhasználják. A kálium-nitrát előállítás a legdrágább a 4 nitrát közül és a legkisebb jelentőségű a robbantástechnikai felhasználása.

### **1.4 A saját fejlesztésű több komponensű robbanóanyag (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, illetve ennek gyakorlati fontosságát. Vagy kizárólag folyékony rendszerrel, vagy csak szilárd folyékony rendszerrel rendelkező robbanóanyagok vannak jelenleg használatban. [40]

Az általam fejlesztett TKR ezt az alkalmazási rést és potenciált elégíti 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 tulajdonágának köszönheti, amelyet tixotróp<sup>42</sup> szuszpenzióknak<sup>43</sup> hívnak. A két fogalom tisztázása fontos ahhoz, hogy a TKR ezen tulajdonságait a felhasználás szempontjából tudjuk értékelni. Egyszerűen megfogalmazva mindez azt jelenti, hogy a folyadék fázis 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 viszkozitását. Éppen emiatt a töltésnél elkerülhetetlen a légbuborékok, lunkerek kialakulása.

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

A TKR esetén a tixotróp jelleg az összekeverés után alakul ki és az lehetővé teszi a tároló csomagolásban a rázás által történő homogenizálást és ez végeredményként lehetővé teszi a kész robbanóanyag kitöltését akármilyen alakos formába is. Azaz egy folyékony fázisból és egy teljesen szilárd (por) fázisból az összekeverés által egy tixotróp, szilárd részecskéket tartalmazó fázis stabilizált szuszpenzió jön létre. Ez az említett amerikai szabványban nem kezelt probléma, Az ilyen heterogén robbanóanyag rendszer szétválását az alábbi vizsgálatom során készült képpel könnyen meg lehet érteni, mivel a folyadék fázis a detonációsebesség mérésére szolgáló nyíláson keresztül kifolyt (1. ábra).



1. ábra: A szétvált robbanóanyag rendszer folyadék fázisa, klasszikus KINEPAK keverék esetén<sup>44</sup>

---

<sup>42</sup> Anyagok nyíró igénybevétel szerint függő viszkozitás változása. Pl.: ketchup, majonéz.

<sup>43</sup> Szilárd részecskék folyadék fázisban elosztatva.

<sup>44</sup> Saját kép, készült 2012-ben.

A TKR folyadék fázisának egyik alkotóeleme rendelkezik minden olyan tulajdonsággal, amely az ideális robbanóanyagok esetén előfordul. Azaz: kicsi a kritikus átmérője, az anyagra jellemző detonációsebesség már kis átmérőben is kialakul, detonációsebessége és brizanciája miatt alkalmas üreges töltetek készítésére. A szuszpenziók általános jellege, hogy bizonyos idő függvényében kiülednek és a folyadékoszlop keresztmetszeti sűrűsége nem lesz ugyanaz a folyadékoszlop alsó és felső részén. Ez a klasszikus Kinepak-típusú<sup>45</sup> bináris robbanóanyag esetén kifejezetten nemkívánatos, igaz az ilyen nagyarányú folyékony fázist tartalmazó robbanóanyagok nem elterjedtek. Ugyanezt a jelenséget megfigyeltem öntött robbanóanyagok esetén is, korábbi vizsgálataim során is [65 pp. 39-48] [66 pp. 280-298] [67 pp. 27-34]. A TKR esetén azonban a szuszpenzió tartósan fennmarad, az hónapos nagyságrendek után sem változik és 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 segítségével a felhasználás helyszínén létrehozható tetszőleges formájú és tömegű robbanóanyag töltet, az előre gyártott csomagoló tartályok segítségével (2. ábra).



2. ábra: a TKR mint nem robbanóanyag, keverés közben és robbanóanyagként<sup>46</sup>

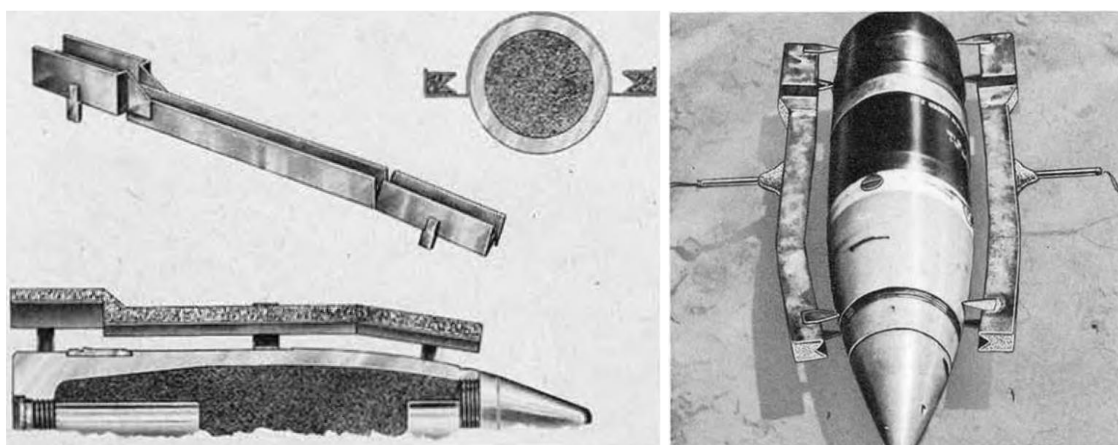
Az új robbanóanyagok tulajdonságai azonban a fentiekben is túlmutatva azt is lehetővé teszi, hogy egy előre gyártott töltet burkolattal irányított hatású, azaz kumulatív tölteteket is készíthessen belőlük a felhasználó. Kumulatív töltetek készítésénél azonban különösen

<sup>45</sup> Ammónium-nitrát és nitrometán tartalmú Amerikában elterjedt robbanóanyag.

<sup>46</sup> Saját fénykép

fontos, az alkalmazott robbanóanyag egyenletes töltése a töltet-házba, mivel az egyenetlen töltés akár a robbanás megszakadásához, megálláshoz is vezethet, illetve – vágótöltet esetén – a vágási képességének drasztikus lecsökkenéséhez.

A vágótöltetek jelentős része gyári extrudálással készül, azonban sok esetben előfordul az alakos töltetek helyszíni készítése egyes célfeladatokhoz. Ebben az esetben plasztikus robbanóanyagok kerülnek többnyire felhasználásra mivel ezek kezelésbiztosak, és gyúrással formázva az előre elkészített alakos töltet-házakba juttathatóak. 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 (3. ábra) tüzérségi löszerek és légibombák tüzszerész mentesítésére.



3. ábra: tüzérségi löszer tüzszerész mentesítése helyszínen töltött lineáris vágótöltete

[67 p.24]

A plasztikus robbanóanyagok formálhatósága azonban a hőmérséklet csökkenésével romlik és nehézkesé válik az egyenletes töltetoszlop kialakítása. A TKR ezzel szemben lehetőséget biztosít ilyen kumulatív töltetek megtöltésére olyan módon, hogy azokban egyenletes sűrűségben és légbuborék mentesen töltse ki a teret a robbanóanyag, és bár vágóképességük nem közelíti meg a HMX, RDX töltetű tölteteket, ugyanakkor akár 20-30 mm vastagságú acéllemezt problémamentes átvágására is képesek. Ezt részletesen is bemutatom a 3. fejezet kumulatív hatás vizsgálatáról szóló részében. A felhasználása során a megtöltött, például 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 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 megfelelő csomagolás kifejlesztése vált szükségessé, amely lehetővé teszi a homogén keverék kialakulását és nem képez akadályt az iniciáláshoz sem. E mellett a csomagolás egyben meggátolja az alkotóelemekkel való fizikai kontaktust is, így sem belélegzéssel sem pedig érintkezéssel nem tudnak az alkotó elemek az emberi szervezetbe bejutni.

Ez a csomagolás alkalmassá teszi a TKR-t a katonai és a rendvédelmi feladatok végzése során rátett töltetekkel szerkezeti elem robbantások, aknamentesítés<sup>47</sup>, tűzszerész munkák elvégzésére, vagy a különleges rendeltetésű erőknél speciális behatolási feladatok végrehajtására is. Az elmúlt időszakban az éghajlatváltozás eredményeként kialakuló árvizek - többek között - hidakat romboltak le. A vízfolyás medrébe zuhant beton vagy acél szerkezeteket viszont gyorsan el kell távolítani onnan, mivel az áradat sodorta egyéb uszadék ezeken fennakadva olyan torlaszokat hozhat létre, mely az vízszint további emelkedését okozva még inkább növeli az árvízi veszélyt. A kiemeléshez a nagyméretű elemek darabolása válhat szükségessé, az esetek jelentős részében azonban ezt a munkát a hagyományos módszerekkel és eszközökkel (pl. hideg- és lángvágók, stb.) ezt nem lehet biztonságosan és gyorsan végrehajtani. A TKR segítségével viszont ezek a katasztrófavédelmi munkák is elvégezhetők. A két különálló komponenst akár helikopterekkel eljuttatva a helyszínre, egyszerű összpontosított töltetként alkalmazva, vagy az általam is készített kumulatív összpontosított és nyújtott töltet házakba betöltve azt, robbantással elválaszthatók egymástól, már daruzható méretűre darabolhatók a roncsolt szerkezeti elemek. Az ipari robbantástechnikában a fent bemutatott robbanóanyag keverő-töltő gépkocsikkal (MEMU) megoldották a robbanóanyagok, rendeletek által szabályozott költséges tárolásának és szállításának problémáját, Ugyanakkor az ANFO, heavy ANFO és emulziós robbanóanyag indításához továbbra is szükség van indító töltetekre (boosterekre). A TKR segítségével viszont ez is a helyszínen kerülhet előállításra, vagyis nem kell robbanóanyagként tárolni és a bányába kiszállítani.

---

<sup>47</sup> Angolul: humanitarian demining. Az amerikai hadsereg jelentős K+F tevékenységet végez ilyen tevékenységekhez használható bináris robbanóanyagok kifejlesztésére.

## 2 ROBBANÓANYAG VIZSGÁLATOK

Az általam fejlesztett TKR felhasználói oldalról történő megfelelőségéhez szükséges vizsgálatok elvégzése során olyan nem várt problémába ütköztem, mint az ilyen típusú robbanóanyagokra vonatkozó hazai és nemzetközi szabályozás hiánya. A fejezetben az ezzel kapcsolatos kérdéseket foglalom össze, majd bemutatom az elvégzett vizsgálataim eredményeit.

### 2.1A robbanóanyag vizsgálatok polgári szabványi háttere és azok elemei

A robbanóanyagok gyakorlatban történő alkalmazását úgy a nemzeti, mint a nemzetközi életben pontosan körülhatárolt szabványok, ezekben rögzített vizsgálati módszerek szabályozzák.

Az európai jogrendből azonban a bináris robbanóanyag – mind a direktívát, mind a szabványokat tekintve – teljes mértékben kimaradt. Ennek oka onnan ered, hogy az első szabadalmi bejegyzése és a termék hőskora, illetve elterjedése az Amerikai Egyesült Államokban az 1980-as, 1990-es évekre tehető. A napjainkban gyártott bináris robbanóanyagok egyik legnagyobb felhasználója is az Amerikai Egyesült Államok. Ugyanakkor Európában a 90-es évek elejéig, közepéig még számtalan hagyományos robbanóanyagot előállító gyár üzemelt, és a piac telített volt a gyártmányaikkal mind a katonai, mind az ipari robbanóanyagok terén. Európában a robbanóanyag gyártók és a felhasználás helyszíne közötti nagy távolságok jelentette tengerentúli sajátosság sem létezett, amely indokoltá tette volna a helyszíni keverésű bináris robbanóanyagoknak a használatát. Így történt meg, hogy ez a robbanóanyag-típus nem jelent meg a szakmai köztudatban és a tudományos életben, holott a jelenkori speciális felhasználási területeken már kontinensünkön is lenne létjogosultsága, azonban rendszerbe illesztése éppen emiatt körülményes és meglehetősen bürokratikus folyamat lesz.

Ehhez kapcsolódóan a vizsgálati-értékelési folyamatokat a szakirányú szabványosítási munkacsoportoknak ki kell dolgoznia, hogy azok bekerüljenek a harmonizált szabványokba [4 p. 49]. Sajátságos a megközelítése a polgári felhasználású robbanóanyagok forgalmazására és ellenőrzésére vonatkozó irányelvben foglalt azon kitételnek is, mely szerint a gyártó *bármely természetes vagy jogi személy, aki robbanóanyagot gyárt, vagy aki robbanóanyagot terveztet vagy gyártat, és saját neve vagy védjegye alatt forgalmaz vagy saját célra használ.* [69] Ez alapján ugyanis, mivel a robbanóanyag a helyszínen kerül előállításra, a bináris robbanóanyag végfelhasználója

gyártói szerepkörbe lép. Elméleti szempontból gyártói engedélyezési folyamaton kellene átesnie minden végfelhasználónak, azonban ez gyakorlatilag megvalósíthatatlan. Arra való tekintettel, hogy a végfelhasználó robbanóanyagot kezel-használ, ami pedig a hazánkban hatályos ARBSZ [70] szerint engedélyköteles tevékenység, így külön engedélyezésre vagy bejelentésre nem lesz szükség. A másik probléma, hogy a bináris robbanóanyagok alkotóelemeinek többsége ún. prekursor<sup>48</sup>, így azok engedély-bejelentés és nyomkövetés hatálya alá tartoznak. [71] Ez inkább a robbanóanyagot előállító gyártói tevékenységére lesz hatással, mivel a végtermékre – attól függetlenül, hogy több, nem az ADR 1-es osztályába tartozó komponensből áll – a nyomon követhetőségről szóló irányelv [72] is kötelező érvényű lesz.

Európában a szabványosítási tevékenységet az Európai Szabványügyi Bizottság (CEN)<sup>49</sup> fogja össze. Az új szabványok szakmai előkészítése vagy átdolgozása, gondozása tartozik a feladatai közé. Az átdolgozás az úgynevezett munkacsoport feladata. A munkacsoport tagjai a tagállamok szabványosítási testületei által delegált szakemberek. A szakértők kikerülhetnek különböző szakirányú intézetekből, vizsgáló laborokból, kijelölt szervezetekből vagy akár a piaci résztvevőkből is. Egyöntetű feladatuk a szabvány tudományos és objektív módon történő előkészítése és kidolgozása oly módon, hogy a jelenkor követelményei alapján elvárható vizsgálatokat, azok értékelését leírja közérthető formában úgy, hogy akár a piacfelügyeleti hatóság nem robbanóanyagipari értelemben vett szakemberei is használni tudják. A szakértők által elkészített munkaanyagot a harmonizált szabvány konzulensek<sup>50</sup> értékelik. Jelenleg folyik a fent nevezett szabványok átdolgozása, a TC/WG321<sup>51</sup> munkacsoport által, melynek feladata a civil felhasználású robbanóanyagokkal kapcsolatban azok szabványosítása, beleértve a biztonsági követelményeket, a terminológiát, a kategorizálást és a vizsgálati módszereket. Nem tartoznak ide a pirotechnikai termékek és lőszer, valamint a fegyveres erők vagy a rendőrség által történő felhasználásra szánt robbanóanyagok. Ez utóbbi az általam kifejlesztett TKR ilyen közegben történő felhasználása esetén majd fontos szempont lehet. A szakértői csoportnak munkájában, annak tagjaként én is részt veszek.

---

<sup>48</sup> A robbanóanyag-prekursorok olyan vegyi anyagok, amelyek törvényes célokra felhasználhatók, de vissza lehet élni velük robbanóanyagok előállítására céljából.

<sup>49</sup> Franciaül Comité Européen de Normalisation. Egy magánkezdményezésű nonprofit szervezet, mely feladatának tekinti hogy az Európa-szerte elismert normák és szabványok elterjesztéséve segítse az európai vállalatok és magánszemélyek tevékenységét.

<sup>50</sup> Angolul: HAS consultant.

<sup>51</sup> CEN/TC 321 Explosives for civil uses; civil robbanóanyagok szabványaival foglalkozó munkacsoport.

## 2.2 A robbanóanyag vizsgálatok katonai szabványok (STANAG) szerint

A NATO által használt szabványok a STANAG<sup>52</sup>-ek. Ezek minden tagország által elfogadott úgynevezett egységesítési egyezmények. Céljuk olyan egységes viszonyrendszerek, rendszerek és folyamatok kialakítása, amelyeken keresztül a NATO bármely területet érintő reagálási ideje csökkenthető. Minden területre készült ajánlás, jelenlegi számuk 1000 fölött van. Emellett az előzetes minősítésben, megfelelésértékelésben jelentős szerepet kapnak az AOP<sup>53</sup>-k. Ezek önálló, nem szabványszintű dokumentumok, amelyek a katonai szabványok támogató-kiegészítő, vizsgálati kézikönyvei.

A katonai szabványok a vizsgálatok tekintetében részletesebb képet adnak a robbanóanyag tulajdonságairól. Ezek a NATO tagországok eltérő, nem feltétlenül egységes katonai rendszerei miatt alakultak ki, valamint amiatt, hogy egy hadművelet során nincs lehetőség olyan körülményre és ideális környezetet biztosítani pl. a robbanóanyag felhasználásakor, mint a civil területen. Elég egy háborús környezetre gondolni, ahol a tárolás, szállítás, felhasználás, kezelés feltételei a legtöbb esetben főleg szélsőséges jelleget mutatnak, így a széles vizsgálati spektrum elkerülhetetlen. Az alkalmazott anyagoknak, eszközöknek azonban ilyen feltételek között is kezelésbiztosnak kell, hogy maradjanak és nem veszélyeztethetik a felhasználókat. Hazánkban a STANAG-ek ratifikációs eljárásrendjét és azok felülvizsgálatát a Magyar Honvédség Haderőmodernizációs és Transzformációs Parancsnokság koordinálja. Amennyiben szükséges ezekbe a folyamatokba civil szakemberek is bevonhatóak.

Az 5. táblázatban láthatóak a robbanóanyagok, primer robbanóanyagok és boosterek STANAG 4170 szerinti vizsgálatai, és a hivatkozás, hogy pontosan melyik dokumentumban találhatóak a kötelezően elvégzendő vizsgálatok.

---

<sup>52</sup> STANAG: Standardization Agreement for procedures and systems and equipment components (A folyamatok, rendszerek és felszerelési eszközök egységesítési egyezményei).

<sup>53</sup> Allied Ordnance Publication, magyarul nincs nevesítve.



| No | KÖTELEZŐ<br>VIZSGÁLATOK                                     | PRIMER<br>RA. | BOOSTER                                  | ROBBANÓANYAG                             |
|----|---|---------------|--|--|
|    | (a)   | (b)           | (c)                                      | (d)                                      |
| 1  | Stabilitás és hőállóság<br>karakterizásása                  | 4515          | 4515&4556                                | 4515&4556                                |
| 2  | Kompatibilitás  | 4147          | 4147                                     | 4147                                     |
| 3  | Gyulladás hőmérséklet                                       | 4515          | 4515,4491                                | 4515,4491                                |
| 4  | Robbanási tulajdonságai<br>(zárt térben nem zárt<br>térben) | -             | 4491                                     | 4491                                     |
| 5  | Elektrosztatikus<br>érzékenység                             | 4490          | 4490                                     | 4490                                     |
| 6  | Ütésérzékenység   | AOP-7         | 4489                                     | 4489                                     |
| 7  | Dörzsérzékenység  | AOP-7         | 4487                                     | 4487                                     |
| 8  | Ütőhullám érzékenység                                       | -             | 4488                                     | 4488                                     |
| 9  | Kritikus átmérő   | -             | AOP-7                                    | AOP-7                                    |
| 10 | Detonációsebesség   | -             | AOP-7                                    | AOP-7                                    |
| 11 | Mechanikus és reológiai<br>tulajdonságok                    | -             | 4506, 4507,<br>4525,4540,<br>4443, AOP-7 | 4506, 4507,<br>4525,4540, 4443,<br>AOP-7 |
| 12 | Öregedés  | AOP-7         | AOP-7                                    | AOP-7                                    |

5. táblázat: A primer és szekunder robbanóanyagok és boosterek vizsgálata. <sup>54</sup> [73]

#### A vizsgálatok rövid ismertetése:

STANAG 4515: Dinamikus hőterhelés vizsgálat kis mintatömegben a kompatibilitás, endoterm csúcsok és az elpuffanás pont mérésére. DTA, DSC, TGA<sup>55</sup> módszerekkel. Nem izotermikus<sup>56</sup> vizsgálat.

STANAG 4556: Vákuumstabilitás vizsgálat. Robbanóanyag bomlásának mérése 100°C/40h tartományban vákuum alatt.

STANAG 4147: Robbanóanyagok kompatibilitásának vizsgálata annak érdekében, hogy fémmel vagy bármilyen anyaggal kapcsolatba kerülve kialakul-e reakció? Ez lehet fémburkolat, csomagolóanyag stb.

STANAG 4491: Hőállóság vizsgálat, elpuffanás pont mérése.

STANAG 4490: Elektrosztatikus érzékenység vizsgálat

STANAG 4489: Ütésérzékenység mérése

STANAG 4487: Dörzsérzékenység mérése

STANAG 4488: Részteszt, (GAP-teszt)

<sup>54</sup> Saját szerkesztés és fordítás a hivatkozás 2. táblázata alapján.

<sup>55</sup> Differenciál pásztázó kalorimetria, differenciál termoanalízis, termogravimetria.

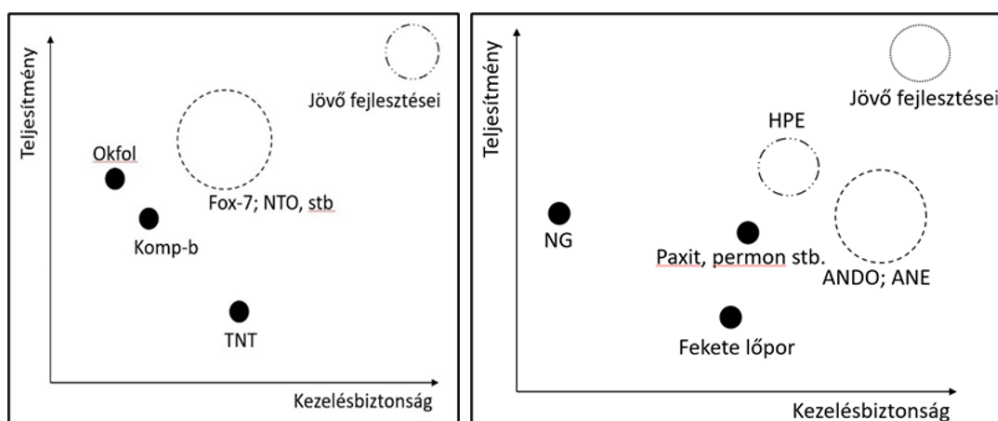
<sup>56</sup> Azonos hőmérsékleten történő vizsgálat.

A TKR felhasználási lehetőségeit – a rendelkezésre álló eszközök, berendezések alapján – a polgári felhasználási lehetőségek szerint vizsgáltam, ezért a STANAG alapján történő vizsgálatokat nem hajtottam végre.

### 2.3. A robbanóanyag vizsgálatok általános elemei

Napjainkban a beszerezhető ipari robbanóanyagok választéka nagyon széles. Jellemzően nincs olyan robbantási feladat, amelyre nem lehetne választani különböző termékekből. Ennek ellenére, ha egy 30 évvel ezelőtti piaci állapothoz hasonlítjuk a mai piacot, akkor jelentős a rendelkezésre álló anyagok között a különbség. A nitroglicerín és az ammonalétromos/TNT tartalmú robbanóanyagok gyártása szinte nullára redukálódott, helyettük az emulziós robbanóanyagok hódítottak teret. Az alkalmazott iniciálási technológiák, fűróberendezések fejlődése is hozzájárult a 30 mm alatti robbanóanyag töltények szinte teljes eltűnésének.

A katonai és civil robbanóanyag fejlesztések a teljesítmény és kezelésbiztonság együttes figyelembevételével haladtak előre.



4. ábra: A katonai (jobb) és a civil (bal) robbanóanyag fejlesztések tendenciái és mérföldkövei<sup>57</sup> [74. p. 65.]

A különböző robbanóanyagok használhatóságának és összehasonlíthatóságának alapja, hogy azok fizikai-kémiai paramétereinek vizsgálata a jelenleg érvényben lévő harmonizált szabványok<sup>58</sup> szerint történjen. A fent említett széles választékból akkor lehet megfelelően kiválasztani a célnak megfelelő robbanóanyagot, ha annak a munkavégző képessége, detonációsebessége, kezelésbiztonsága és egyéb paraméterei ismertek.

<sup>57</sup> Saját szerkesztés és átdolgozás a hivatkozás 65. oldalán közölt ábra alapján.

<sup>58</sup> Az 1025/2012/EU rendelet 2. cikke (1) pontjának c) alpontjában meghatározott harmonizált szabvány: „a Bizottság felkérésére az uniós harmonizációs jogszabályok alkalmazásának elősegítésére elfogadott európai szabvány”.

A disszertációm alapját képező több komponensű robbanóanyagot (TKR) az alábbiakban ismertetett szabványok szerinti vizsgálatoknak vettem alá. A szabványok alapján történt mérési eredményeket a fejezet végén összesítem.

EN 13631-2:2003 – A robbanóanyagok hőállóságának meghatározása.

EN 13631-3:2005 – A robbanószerkezetek dörzsérzékenységének meghatározása.

EN 13631-4:2003 – A robbanóanyagok ütésérzékenységének meghatározása.

EN 13631-7:2004 – A biztonság és a megbízhatóság meghatározása szélsőséges hőmérsékleteken.

EN 13631-13:2003 – A sűrűség meghatározása.

EN 13631-10:2004 – A gyújtás eszközeinek ellenőrzése.

EN 13631-14:2003 – A detonációsebesség meghatározása.

MSZ 14-05065-89 Hess-féle brizanciapróba.

A kumulatív töltet készítés és az átütőképesség vizsgálata nem szabvány alapján történt, mivel ez a vizsgálat nincs egységesítve. Egyedül az AOP 4526<sup>59</sup>-ban [75] található kumulatív töltettel történő vizsgálat, de ez kifejezetten a lövedékekre vonatkozik, hogy azok mennyire veszélyeztetnek kumulatív jet általi találat esetén.

A fenti szabványokhoz tartozó követelményeket és értékeléseket az alábbi összefoglaló táblázat tartalmazza.

---

<sup>59</sup> 2022 március 4. kiadás

| Szabvány        | Témakör             | Mért érték           | Követelmény   | Értékelés  |
|-----------------|---------------------|----------------------|---|--|
| EN 13631-2      | Hőállóság           | [°C]<br>[bar]        | Nem történhet semmilyen autokatalitikus reakció                                 | Referencia anyagtól ± 3° C eltérés; max. 0,6bar nyomásemelkedés a mintán |
| EN 13631-4      | Ütésérzékenység     | [J]                  | Nincs füst, szikra, reakció   | Érzéketlenebb, mint 2J   |
| EN 13631-3      | Dörzsérzékenység    | [N]                  | Nincs füst, szikra, reakció   | Érzéketlenebb, mint 80N  |
| EN 13631-7      | Extrém hőállóság    | [°C]                 | Indíthatósága garantált ±5°C-al szélesebb tartományban, mint amit a Gy.s.* leír | EN 13631-10 eszközével megbízhatóan indítható                            |
| EN 13631-10     | Indíthatóság        | -                    | Gy.s. szerint indítható   | Detonációsebessége a Gy.s. szerinti                                      |
| EN 13631-13     | Sűrűség             | [g/cm <sup>3</sup> ] | Gy.s. szerint   | Gy.s. szerinti érték   |
| EN 13631-14     | Detonációsebesség   | [m/s]                | Gy.s. szerint   | Gy.s. szerinti érték EN13631-10 eszközével indítva                       |
| MSZ 14-05065-89 | Hess-féle brizancia | -                    | 3 mérés kis szóródást mutasson  | Viszonyszám, nincs értékelése.   |

\*: Gy.s.: gyártói specifikáció

*6. táblázat: Robbanóanyagok vizsgálati szabványai, és a megfelelőségük értékelése*

A fenti vizsgálati megközelítés alapját a 2014/28/EU Irányelv 2. fejezetének 5. cikk (1) pontja képezi, amely szerint a gyártó kötelezettsége: „*Robbanóanyagok forgalomba hozatalakor vagy saját célra történő felhasználásakor a gyártók biztosítják, hogy a robbanóanyagok tervezése és gyártása a II. mellékletben előírt alapvető biztonsági követelményekkel összhangban történt.*”

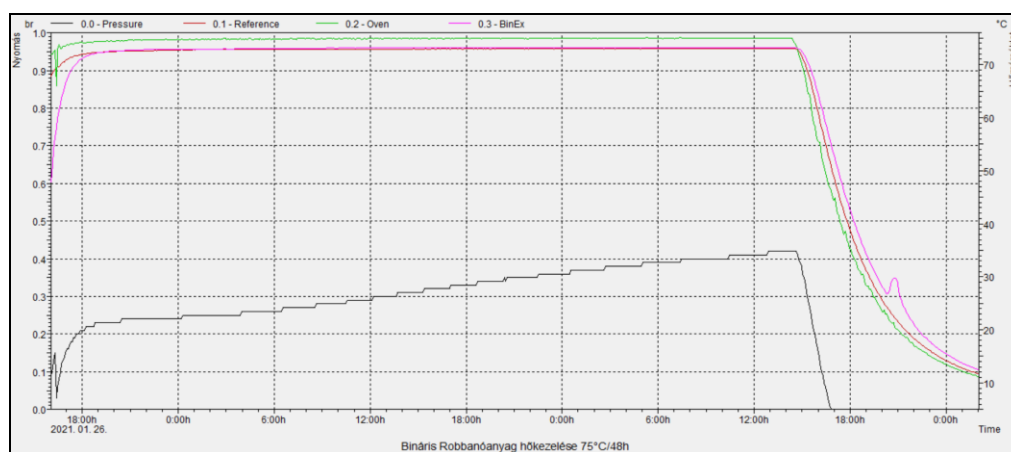
A II. melléklet megfogalmaz általános, különleges és robbanóanyag specifikus (robbanóanyagok, robbanószinór, gyújtószinór, gyutacs, hajtóanyag) követelményeket. Ezek a követelmények képezik a megfelelőségértékelés alapját. Céljuk, a robbanóanyag használó egészségének a védelme, biztonságának garantálása, illetve a vagyon és a környezet védeleme.

A továbbiakban a kifejlesztett TKR szabványok szerint megfelelőségi vizsgálatait mutatom be. Az alkalmazott mérő és vizsgáló eszközöket az 5. számú mellékletben foglaltam össze.

### 2.3.1 Hőállóság meghatározása (EN 13631-2:2003)

A vizsgálat egy nem ideális tárolási körülményt szimulál, amely alapján meghatározható az anyag stabilitása. Izotermikus vizsgálat, amely 75°C-on történik, időtartalma 48 óra. Értékelése az alapján történik, hogy a robbanóanyag hőmérséklete a hőkezelés alatt 3°C-al meghaladta-e a referencia anyag (kvarchomok) hőmérsékletét, illetve az edényben esetlegesen meginduló bomlási folyamat miatt kialakult-e 0,6 bar-nál nagyobb parciális nyomás? A vizsgálat eszközeit tekintve azok három fő részből tevődnek össze:

- Adatrögzítővel rendelkező mérőegység, mely alkalmas nyomás és hőmérsékleti mért adatok egyidejű rögzítésére.
- Edények, amelyek légmentesen zárhatóak, és képesek 0,6 bar nyomás elviselésére.
- Szárítószekrény, amely nagy pontossággal képes meghatározott ideig, az adott hőmérsékleti értéket fenntartani. A vizsgálandó robbanóanyagból 100 g robbanóanyagot kell az üveg edénybe elhelyezni oly módon, hogy abba az adatrögzítő hőeleme beleérjen. Ezen kívül még 2 ponton történik hőmérsékletmérés, az egyik a szárítószekrény hőmérséklete, valamint a kvarchomok referencia anyag hőmérséklete. A teljes megtöltött edény tömege a robbanóanyaggal együtt lemérésre kerül. Az adatrögzítő által mért értékeket az eszköz saját szoftverével lehet kiértékelni. A hőkezelési ciklus után szükséges még a vizsgálat utáni tömeg lemérése, amely alapján számolható a tömegvesztés. A teljes folyamat mérési eredményei az alábbi táblázatban találhatóak.



5. ábra: Több komponensű robbanóanyag hőkezelési diagramja<sup>60</sup>

A grafikonról a következő adatok olvashatóak le. A bal oldali függőleges tengelyen a robbanóanyagot tartalmazó üveg edényben mért nyomásváltozás látható. A nyomás

<sup>60</sup> Saját mérési eredmények alapján szoftverből kinyert grafikon. Dátum: 2021.01.16

maximuma: 0,42 bar. A vízszintes tengelyen a vizsgálat ideje, a jobb oldali függőleges tengelyen pedig a szárítószekrény (*zöld*), referenciaanyag (*piros*) és a robbanóanyag(*rózsaszín*) hőmérsékleti értékei láthatóak. A legnagyobb eltérés 0,2°C volt a kvarchomokhoz képest. A grafikon alapján a TKR teljesíti a szabvány által támasztott követelményeket. A nyomás egyenletes növekedése a folyadék fázis párolgásának tudható be, amely alapján egyértelműen látszódik, hogy amint a hőkezelési ciklus leállt, a nyomásérték esett, nem pedig autokatalitikus reakcióként folytatódott. Szükséges megjegyezni, hogy ezt a jelenséget a vizet tartalmazó robbanóanyag emulzióknál is meg lehet figyelni. A veszélyes áruk vizsgálatára vonatkozó Vizsgálatok és Kritériumok Kézikönyvének [76] azonos vizsgálata, nyomásmérést nem alkalmaz, mivel teljesen zárt környezetet egy küldeménydarab esetén nem életszerű vizsgálni. *A vizsgálat során a disszertációm témáját képező TKR robbanóanyag megfelelt, sem autokatalitikus reakció, sem exoterm reakció sem pedig reakcióra utaló nyomásemelkedés nem jött létre.*

### **2.3.2 A biztonság és a megbízhatóság meghatározása szélsőséges hőmérsékleteken (EN 13631-7:2004)**

A szabvány leírása szerint a vizsgálatot a gyártó által javasolt legmagasabb vagy legalacsonyabb hőmérséklet tartományon túl 5°C-al kell elvégezni. Legtöbb esetben az extrém pozitív tartományban működő eszközök az olajkutatóban, szeizmikus vizsgálatoknál fordulnak elő. Normál civil robbantási feladatokban az extrém magas hőmérséklet egyedül a kohászati robbantások esetében fordul elő, azonban itt egyéb technológiai elemeket használnak a robbanóanyag hőállóságának garantálására. Az extrém alacsony hőmérséklet a robbanóanyagok iniciálását nem befolyásolja azonban az emulziós robbanóanyagok vagy plasztikus robbanóanyagok tartósan fagyponthoz alatti tartományban nagyon nehezen megmunkálhatóak, kezelésük nehézkessé válik. A brizáns robbanóanyagok alacsony hőmérsékletre való érzékenysége nem kritikus [77 pp. 690-699] azonban a megmunkálhatóságuk jelentősen lecsökken.

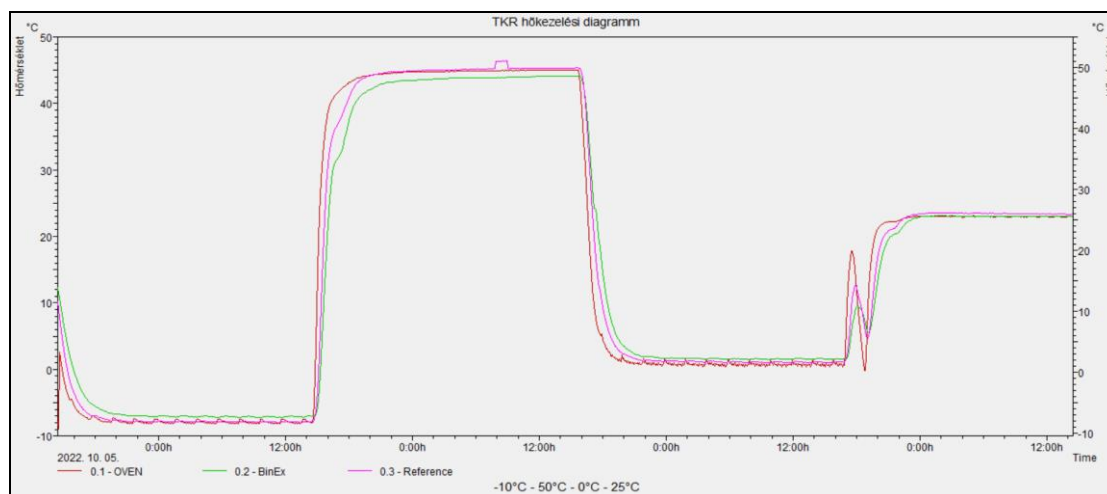
A disszertációm fejlesztéseként előállított robbanóanyag keverékét a 2.3.1. pontban vizsgált 75°C-nál magasabb hőmérsékleten nem vizsgáltam, azonban pozitívumként jelentkezett, hogy iniciálhatósága nem változott, azonban átütőképessége a kumulatív vizsgálatoknál megnőtt. Ennek tudományos magyarázata a porozitás növekedésében keresendő. A magasabb hőmérsékleten a szilárd fázis alkotóeleme kristályszerkezetet vált és ezen változás a térfogat növekedését eredményezi. Majd a hőmérséklet csökkenésekor a

kristályok újra átrendeződnek és a szerkezetük változása tovább növeli a porozitást. Ezzel a változással a folyadék fázis a szilárd fázis kristályai közé mélyebben be tud hatolni, és a robbanóanyag szerkezete homogénebbé válik, ezzel stabilabbá téve a detonációt.

Alacsony hőmérsékleti vizsgálatnak többféle módszerét alkalmaztam. Az első esetben fagyasztószekrényvel  $-35^{\circ}\text{C}$ -ra hűtve vizsgáltam milyen módon változik a robbanóanyag kezelése formázhatósága. A TKR nem fagyott meg, az továbbra is formába önthető maradt, sem kristályosodás sem pedig szerkezetváltozás nem volt megfigyelhető.

A 2021. szeptember 28-án rendezett robbantási bemutatón [78]  $-20^{\circ}\text{C}$ -ra hűtött robbanóanyag indíthatóságát végeztem el. A robbanóanyag 8-as erősgű gyutaccsal indítva problémamentesen és stabilan robbant.

A harmadik esetben ciklusos hőkezelést alkalmaztam, ahol különböző hőmérsékleteket lépcsőket ( $-10^{\circ}\text{C}$ ;  $-50^{\circ}\text{C}$ ;  $0^{\circ}\text{C}$ ;  $-25^{\circ}\text{C}$ ) 24 óráig tartottam fent.



6. ábra: Ciklusos hőkezelési diagramm <sup>61</sup>

A hőkezelési ciklus után a robbanóanyag 8-as erősgű gyutaccsal stabilan és teljesen felrobbant.

### 2.3.3 Dörzsérzékenység meghatározása (EN 13631-3:2005)

A vizsgálattal a robbanóanyag mechanikai hatásokkal szembeni érzékenységét határozzuk meg, különösen a kezelés és szállítás közben gyakran jelentkező mechanikus dörzsölési hatással szemben. Dörzsölés létrejöhet a járófelületre, rakodótérre, munkafelületre kiszóródott anyagon. Mértékegysége a Newton. A vizsgálat eszköze a dörzsgép. A dörzsgépen 6 különböző pozícióban 9 féle súlyt lehet elhelyezni, amely

<sup>61</sup> Saját mérési eredmények alapján szoftverből kinyert grafikon. Dátum: 2021 10 05

eredményeképpen 54 féle beállítással mérhetünk. A vizsgálat szempontjából az 5N-360N-ig lefedhető minden robbanóanyag érzékenységének mérése. A vizsgálat során egy porcelán lapka és egy lekerekített porcelán stift közé kell  $10 \text{ mm}^3$  mintát helyezni. A gép gombnyomásra a stift terhelése alatt egy oda-vissza mozgást végez, és a minta így a két érdesített kerámia között dörzsölődik a meghatározott tömegű terhelés alatt.

A reakció lehet: robbanás, deflagráció, égés, részleges égés (sercegés), füst, vagy csak a karc-szín elváltozása. A reakció a beállított tömeg által a két porcelán felület közötti mozgási energia közlése miatt létrejött hőmérséklet emelkedéshez köthető. Szerepe van még az anyag alkotóelemeinek egymáshoz való dörzsölésével jelentkező magas hőmérsékletű reakcióközpontoknak is. Az emulziós robbanóanyagok kedvezőbb viselkedést mutatnak ilyen vizsgálatkor mivel 10% vagy a feletti víztartalmuk szinte teljesen érzéketlenné teszik ezeket még 360N esetén is. A TKR robbanóanyag fejlesztésem szintén nem mutatott semmilyen reakciót sem 360N terhelésre. Ütésérzékenység meghatározása (EN 13631-4:2003) A robbanóanyag mechanikai hatásokkal szembeni érzékenységét határozhatjuk meg vele. A vizsgálat eszköze az ejtőkalapács.

A vizsgálandó minta érzékenységének kifejezése jouleban történik, amely az ejtőkalapács tömegének, a nehézségi gyorsulásnak és az ejtési magasságnak a szorzatából adódik. Az ejtőkalapács egy kapcsolóval oldható rögzítő mechanizmus segítségével ejtethető el 2 sín pálya között. A súly és az ejtési magasság szabadon változatható, így akár 0,5 J vagy 80 J ütési energiát is lehet a robbanóanyaggal közölni. A vizsgálatához  $40 \text{ mm}^3$  minta szükséges, amelyet egy fémgyűrűben 2 acélhenger közé kell elhelyezni.

A vizsgálat elméleti háttere az úgynevezett forrópont elméletben keresendő. Mint a legtöbb anyag ezeknek a minták sem homogén a szerkezetek. Akár folyékony, akár szilárd halmazállapotúak, minden esetben tartalmaznak apró, mikroszkopikus méretű repedéseket, légbuborékokat, gázokat. A fém gyűrűben elhelyezett zárt egységben az ejtőkalapács becsapódásakor rövid, de erőteljes mechanikai impulzus, úgynevezett ütőhullám jön létre. A súly becsapódásakor a robbanóanyag a két acélülő között összepréselődik, azonban a gyűrű az anyag oldalirányú mozgását megakadályozza. Így létrejön a nagyon rövid idejű ( $10^{-5}$  -  $10^{-3}$ s) komprimáló impulzus egy 0.1-10 $\mu\text{m}$  vastagságú rétegben, ahol a fent említett légbuborékokban, repedésekben a hőmérséklet eléri akár a 900°C-ot is [79 p. 59]. Egyes értelmezések szerint az iniciáláshoz tartozó minimális küszöbértékek: 700K hőmérséklet, több mint 300  $\mu\text{s}$  impulzusidő és 10  $\mu\text{m}$  feletti szemcseméret. [80 p. 21] Az ütésérzékenység vizsgálat során az egy rendszernek tekinthető mintatartó nem tudja ilyen rövid idő alatt az összepréselődő minta, komprimáció által létrejött hőmérséklet



emelkedését elvezetni, ezért létrejön az úgynevezett adiabatikus kompresszió. Ezen jelentős hőmérsékletű forrópontok nagy felületen létrehozzák a vizsgálati minta iniciálását, mivel a legtöbb robbanóanyag elpuffanásponjtja 300°C alatt van. Ez a nagy térfogatban lejátszódó iniciálás láncreakcióként az anyagban tovaterjed. A vizsgálati minta sajátosságai határozzák meg, hogy ez milyen mértékben és hevességgel valósul meg ilyen kicsi térfogatban. Azt szükséges megjegyezni, hogy a forró pontok kialakulásához hozzájárul még a robbanóanyagok alkotóelemeinek egymáshoz való dörzsölődése amely azonos módon hőmérséklet emelkedést idéz elő. Az adiabatikus kompresszió és az alkotóelemek közötti vagy kristályközi dörzsölődés együttesen hozza létre a hőmérséklet emelkedését. Az észlelt reakciók lehetnek: robbanás, deflagráció vagy égés amelyek hangatással vagy füstként, vagy csak égésnyomként jelenik meg a fém üllőkön.

A reakciók kialakulásának tekintetében az emulziós robbanóanyagok, vagy a folyadék fázist is tartalmazó robbanóanyagok érzéketlenebbek, mivel azok az üllők és a gyűrű repedésein kipréselődhetnek. Mindemellett a folyadékok hővezető képessége jobb mint a csak szilárd fázist tartalmazó anyagoké.

A vizsgálatot egy becsült értéken kell elkezdni, és a „reakció – nincs reakció” elven azt különböző energiaszinteken végrehajtani. Az EN 13631-4:2003 szabvány szerint a konkrét ütés érzékenységet akkor kapjuk meg, ha 6 vizsgálatból 1 alkalommal történik csak reakció. Vizsgálatom során 5 kg súlyú ejtőkalapácsot 40 és 30 centiméter magasságról ejtettem, azaz a közölt energia 20 és 15 J volt. 20 J esetén 2 reakció volt 15 J esetén nulla. Így a kifejlesztett TKR ütésérzékenysége 15-20 J közé tehető, amellyel jelentősen a biztonságos zónába tolódik, hiszen a nem megfelelés kritériuma a 2 J.

Az alábbi táblázatban összehasonlításuk különböző robbanóanyagok ütés- és dörzsérzékenységét láthatjuk.

| Robbyanóanyag           | Dörzsérzékenység | Ütésérzékenység |
|-------------------------|------------------|-----------------|
|                         | N                | J               |
| Robbanózseletin (75%NG) | 80               | 2,9             |
| Ólom-azid(száraz)       | 10               | 1,2             |
| Ólom-sztifnát           | 2                | 5               |
| Higany-fulminát         | 10               | 1               |
| PETN (Száraz)           | 60               | 3               |
| PETN/víz (75/25)        | 160              | 5               |
| RDX (száraz)            | 120              | 5               |
| RDX (nedves)            | 160              | 30              |
| HMX (száraz)            | 80               | na              |
| TNT                     | 360              | 15              |
| Nitroglicerin           | na               | 1               |
| HNS                     | 240              | na              |
| Etil-nitrát             | 1                | na              |
| Permon 10T              | na               | 30              |
| TKR                     | 360              | 15-20           |

7. táblázat: Különböző robbanóanyagok ütés- és dörzsérzékenysége

[76. p. 87, p. 118.] [81. pp. 70-81.]

Az ütés és dörzsérzékenység vizsgálata során a reakciók megjelenéséhez köthetően szükséges kiemelni az ideális (homogén) és nem-ideális (heterogén) robbanóanyagok közötti különbséget. Mind a kettőben a reakció hőközléssel történik, azonban az első esetben a reakció a molekulák között történik. [82 pp. 296-300] A második esetben a reakciók megjelenése és fenntartása jelentős függést mutat a forrópontok jelenlétével. Éppen emiatt a heterogén rendszer miatt érzéketlenebbek a civil területen felhasznált robbanóanyagok a külső hatásokra (kezelésbiztonság), ugyanakkor a homogén robbanóanyagok detonációsebessége kis mértékben változik az átmérő növekedésével. A jellemző detonációsebesség érték már kis átmérőben is az anyagra jellemző értéket mutatja, mint például a PETN töltésű robbanószinórok esetén.

#### 2.3.4 Sűrűség meghatározása (EN 13631-13:2003)

A robbanóanyagok sűrűségének meghatározása nem igényel speciális technikai felszereltséget. Töltényezett, vagy préselt robbanóanyagok esetén az Archimédesz-módszer szerint történik a mérés, por állagú robbanóanyagok esetén ismert térfogatú

edénybe töltve, tömeg visszaméréssel számolható ki. Emulziós robbanóanyagok esetében a nehézséget az emulziós mátrix viszkozitása jelenti. Keveréskor, adagoláskor jelentős mennyiségű légbuborék kerül a mérőhengerbe, amely pontatlan mérést eredményez. Egyenletesen szinte kizárólag csak a gyártóhelyen lehet mérni, ahol a keverőgépből kiömlő masszát lehet kezelni vagy felfogni ismert térfogatú edénybe. A TKR tixotróp szerkezeténél fogva egyenletesen önthető és bármilyen edényben mozgatással a kolloid struktúra felbontható, ilyen módon a viszkozitás megváltozása lehetővé teszi a légbuborékok zárványok eltávolítását. Ezt az előnyös tulajdonságát a későbbiekben részletesen ismertetem.

A sűrűségmérés esetében nem-megfelelőség nem értelmezhető, illetve csak akkor, ha az jelentősen eltér a gyártó által közölt adattól. A TKR sűrűsége  $1,29 \text{ g/cm}^3$ .

Annak ellenére, hogy egy egyszerűen mérhető paraméter, a sűrűség az egyik legnagyobb jelentőséggel bíró érték a robbanóanyag robbanásfizikai tulajdonságai között, mivel a robbanási nyomás, a lezajló kémiai reakciók és a csúcnyomás között szoros összefüggés van. Külszíni bányászban felhasznált robbanóanyagok esetén a sűrűségnek a szerepe a vizes robbantólyukba töltött robbanóanyag esetén jelenik meg, mivel fontos, hogy az indító töltény a víz alá tudjon merülni és abban lesüllyedjen.

| Robbanóanyag  | Sűrűség              |
|---------------|----------------------|
|               | [g/cm <sup>3</sup> ] |
| Austrogel P   | 1,4                  |
| Hidromite 70  | 1,05-1,25            |
| Emulex 1      | 1,2                  |
| Hidromite 100 | 0,8-1,15             |
| Emulex C      | 1,05                 |
| ANDO EV       | 1,17                 |
| PETN          | 1,77                 |
| Permon 10T    | 0,8                  |
| Emsit V       | 1,15                 |
| Semtex 1A     | 1,34                 |
| <b>TKR</b>    | <b>1,29</b>          |

8. táblázat: Különböző robbanóanyagok sűrűsége

### 2.3.5 Detonáció sebesség mérés (EN 13631-14:2003)

A detonációsebesség a robbanóanyag legjobban mérhető alapvető tulajdonsága. Értéke nagyban változhat a beszorítottságtól, az összetevőktől, az iniciálás módjától, a sűrűségtől és több más technológiai faktortól. [83 pp. 63–72] A sűrűség ismerete mellett alkalmas

arra, hogy általános képet adjon a robbanóanyag felhasználási lehetőségeiről. A robbanóanyag detonációsebességéből következtetni lehet a robbanási nyomásra, brizanciára, hőmérsékletre vagy akár a kritikus átmérőre is. Az alacsony értékek között inkább a pirotechnikai anyagok vannak, míg a magasabb értékek (6000 m/s felett) szinte kizárólag a katonai, vagy a civil terület speciális feladataihoz használt robbanóanyagok tartoznak. Mérésére napjainkban leginkább az optikai úton működő eszközöket használják. A mérőeszköz valójában egy nagysebességű időmérő, amely számára a „start” és „stop” elektromos impulzust egy nagy érzékenységgű fotodióda biztosítja. A mérés elve a következő.

A robbanóanyagok iniciálásakor azokban a tengellyel párhuzamosan detonációs hullámfront kezd el haladni. A hullámfronton jön létre az az önfenntartó adiabatikus kompresszió, amelyről már a 2.3.3. részben említést tettem. A front mögött helyezkedik el a kémiai reakciók zónája, ahol a robbanóanyag gyors égése játszódik le. Ez a zóna az, amely az optikai elven működő méréshez szükséges fényt bocsájtja ki. Ezen zóna mögött már csak az expandálódó gáztermékek kiáramlási szakasza található. Mivel a detonációsebesség mérésére legalább 2 mérési pont szükséges, a második szonda mérési pontja az elsőtől pontosan lemerített távolságra van. Miután a „start” ponton a mérés elindult, a nagysebességű számláló méri az időt a második „stop” szondáig. Ekkor az időmérés leáll és a  $v = s/t$  képletből kiszámítható a detonációsebesség, amelyet m/s dimenzióban adnak meg jellemzően.

A detonációsebesség jelentősen függ a robbanóanyag átmérőjétől. Jellemzően a brizáns, nagyobb detonációsebességű robbanóanyagok kisebb átmérőben is stabilan detonálnak, és sebességük nem változik különösebb mértékben. Azonban ezek kémiai értelemben homogén robbanóanyagok (PETN, HMX, RDX) nem pedig robbanóanyag keverékek. Robbanóanyag keverékek esetén a kritikus átmérő már olyan nagy jelentőségű, hogy bizonyos keresztmetszet alatt a robbanás elveszíti önfenntartó képességét és le is áll. Ezért fontos információ amikor egy robbanóanyag detonációsebességéről beszélünk, hogy ismert legyen, milyen sűrűség és átmérő mellett mérhető az adott érték.

| Robbanóanyag | Detonációsebesség | Sűrűség              | Átmérő |
|--------------|-------------------|----------------------|--------|
|              | [m/s]             | [g/cm <sup>3</sup> ] | [m/s]  |
| Austrogel P  | 5500              | 1,4                  | 35     |
| RDX          | 8750              | 1,9                  | na     |
| Ostravit C   | 1900              | 1,15                 | 30     |
| Perunit E    | 6200              | 1,3                  | 65     |
| PETN         | 8270              | 1,77                 | na     |
| Permonex V19 | 3700              | 0,9                  | 50     |
| Emsit V      | 5000              | 1,15                 | 65     |
| Semtex 1A    | 7300              | 1,4                  | 16     |
| TKR          | 5500              | 1,29                 | 18     |

9. táblázat: Különböző robbanóanyagok detonációsebessége

A vizsgálatok során a TKR detonációsebessége 5500 m/s (Ø 18mm) és 5840 m/s (Ø 28mm) volt, mindkét esetben műanyag csőben mérve. Fém csőben, vagy nagyobb sűrűségű közegben a detonációsebesség magasabb értéket mutat. A 18 mm átmérőben az 5,5 km/s sebesség azért is figyelemreméltó, mivel ebben az átmérőben kizárólag csak plasztikus robbanóanyagok, és robbanózsínórok esetén tapasztalunk ilyen értéket.

### 2.3.6 Detonációsebesség mérése kis átmérőben

Napjainkban a piacon előforduló robbanóanyagok között már nem találunk a robbanózsínóron és a plasztikus robbanóanyagokon kívül olyan termékeket, amelyek 22 mm átmérő alatt is stabilan robbannak. Ennek egyik oka a piaci igények megváltozása, mely valójában a fűrástechnika fejlődésére vezethető vissza. Napjainkban akár egy kézi akkumulátoros fűróval is könnyedén kifűrhatunk 25 mm átmérőjű fűrólyukakat. Ez 40 évvel ezelőtt szinte lehetetlennek tűnt, mivel a pneumatikus fűrókalapácsok uralták szinte teljesen a piacot. Ezzel együtt viszont sok országban megszűnt a bányászat, az alagúthajtásoknál napjainkban modern fűrógépeket használnak, és nincs igény a kis átmérőben is elérhető robbanóanyagokra.

Ahol továbbra is van igény a kis átmérőben is stabilan használható robbanóanyagokra:

- Plattírozás (speciálisan kisméretű termékekhez használva);
- Alakos töltetek;
- Barlangkutatáshoz köthető robbantási munkák, [84 pp. 63-69]
- Batározás;
- Speciális katonai és rendvédelmi feladatok.

Ennél a vizsgálatnál a célom a detonációstabilitás és a detonáció sebesség állandóságának vizsgálata volt. Ehhez a TKR-t egy 14x1 mm méretű KO33-as acélesőbe töltöttem, amelyen összesen 6 ponton mértem detonációsebességet. A detonációsebesség mérésére – ahogy erre már fentebb is utaltam – napjainkban már sokféle elv létezik [85 pp. 83-86] Ezekben belül én 2 ponton optikai elven, 4 ponton pedig úgynevezett ionizációs elven történő mérést alkalmaztam.

A mérési eredmények eredményei az alábbi táblázatban találhatóak

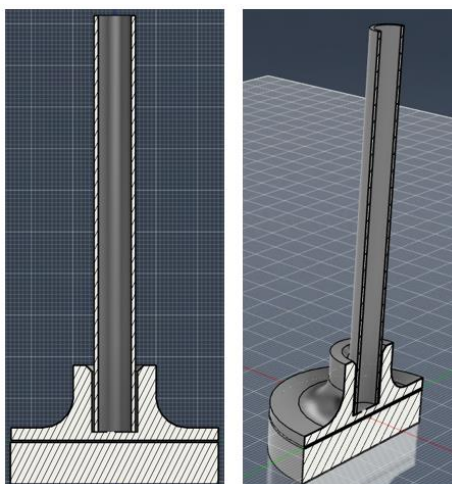
| Mérőszondák   |    | Szondatáv<br>[mm] | Idő<br>( $\mu$ s) | Detonációsebesség<br>[m/s] |
|---------------|----|-------------------|-------------------|----------------------------|
| T0            | T1 | 100               | 18,5              | 5405                       |
| T0            | T2 | 250               | 46,8              | 5342                       |
| T0            | T3 | 350               | 65,8              | 5319                       |
| T1            | T2 | 150               | 28,3              | 5300                       |
| T2            | T3 | 100               | 19,0              | 5263                       |
| T1            | T3 | 250               | 47,3              | 5285                       |
| <b>Átlag</b>  |    |                   |                   | <b>5319</b>                |
| <b>Szórás</b> |    |                   |                   | <b>50</b>                  |
| O1            | O2 | 100               | 20,0              | 5000                       |

10. táblázat TKR detonációsebességének mérése 12 mm átmérőben

A mérési eredményekből jól látható, hogy a TKR ilyen kis átmérőben is stabilan és egyenletesen robbant. A mért eredmények jól összetartanak, a legnagyobb és legkisebb érték között 142 m/s különbség van, ami kifejezetten jó szórást eredményezett.

Az optikai módszer végeredménye sem tekinthető jelentős eltérésnek, mivel ott is csak 319 m/s különbség adódik az átlaghoz képest. Az eltérés az optikai mérés és az emulziós szerkezet színe miatt következett be. A fehér színű, áttetsző robbanóanyagok esetén a robbanás fényhatása miatt a fotodiódák hamarabb kerülnek triggerelt állapotba és okozhatnak eltérést más módszerekhez képest. [86 pp. 78-81] Azonban ez jellemzően bőven a szondák pozícionálása miatti eltérések hibahatárai alatt vannak.

A másik módszer, amivel ellenőriztem a detonáció felfutást és stabilizáltságot, az egy még kisebb átmérőjű csőbe történő robbantásos vizsgálat volt. A TKR-t egy 10x1mm-es vörösréz csőbe töltöttem. A 300 m hosszú cső egy 10 mm vastag acélkorongon került elhelyezésre. Az elrendezést a következő ábrán láthatjuk:



7. ábra: TKR 8 mm átmérőjű rézcsőben acél céltárgyon, keresztmetszeti kép<sup>62</sup>

A vizsgálat célja ebben az esetben szintén nem a gyakorlati felhasználás volt, hanem a korábban elvégzett, 8 mm-es gyutacshüvelybe való töltés és a kritikus átmérő vizsgálat ellenőrzése és verifikálása. Kisebb beszorítottság esetén tapasztalható volt töltetmegállás vagy részleges robbanás, azonban azáltal, hogy a nagyobb sűrűségű anyagban történt az indítása, jól látható módon 12. ábra szerint is, stabilan végig ment a detonáció. Ugyancsak látható a vörösrész cső egyenletes szilánkokra történő szakadása is. Az acélcsövön nem történt jelentős deformáció, azonban a minimális robbanóanyagmennyiség (20 g) alapján ez nem is volt várható. A jobb oldali képen nyíllal jelölt részen látható a TKR által okozott 0,4 mm mélységű benyomódás a 10 mm vastag acélkorongon.



8. ábra: TKR 10x1 mm vörösréz csőben történő robbanásának stabilitás vizsgálata

<sup>62</sup> Saját szerkesztés

Következtetésként a fenti két vizsgálat alapján jól látható, hogy kis átmérőjű alkalmazások esetén is képes a TKR stabil detonációra. Ez további speciális lehetőségeket nyithat a felhasználási területekben.

### 2.3.7 A gyújtás eszközeinek ellenőrzése (EN 13631-10)

Ez a szabványt együtt alkalmazzák az EN 13631-14:2003 szabvánnyal, mivel a gyártó által javasolt iniciálási eszközt kell felhasználni a vizsgálathoz. Amennyiben a robbanás stabilan végigfut a robbanóanyagban, és az arra jellemző detonációsebességet mérik, akkor mind a két szabvány feltételeit teljesíti.

A szabvány értelmezését tovább vezetve, 200 g TKR iniciáló képességét összehasonlítottam a konvencionális piacon elérhető boosterek iniciáló képességével.

Háromféle konvencionális ipari robbanóanyagot vizsgáltam: az egyik egy kémiai úton érzékenyített hidrogén-peroxid emulziós (HPE) robbanóanyag, amelyet töltőkocsis (MEMU) robbantásokhoz használnak, a második egy standard ANDO, a harmadik pedig egy hagyományos kémiai úton érzékenyített ammónium-nitrát emulzió (ANE). Mind a három esetben a robbanóanyag egy 72 mm belső átmérőjű 18 mm falvastagságú műanyag csőben volt, és a detonációsebességet is mértem.

| No. | T/B* | HPE   |                      | ANDO  |                      | ANE   |                      |
|-----|------|-------|----------------------|-------|----------------------|-------|----------------------|
|     |      | [m/s] | [g/cm <sup>3</sup> ] | [m/s] | [g/cm <sup>3</sup> ] | [m/s] | [g/cm <sup>3</sup> ] |
| 1   | B    | 3704  | 0,96                 | 3846  | 0,72                 | 3125  | 0,98                 |
| 2   | B    | 3846  | 0,98                 | 3409  | 0,72                 | 4405  | 1.13                 |
| 3   | T    | 3704  | 0,98                 | 3846  | 0,72                 | 4132  | 1,19                 |

\*:TKR / Booster

11. táblázat: Táblázat a különböző iniciálások összehasonlításával

A táblázat eredményeiből látszódik, hogy a robbanóanyagok detonációsebességei között nem lett jelentős eltérés a konvencionális boosterhez (APG450) képest. A TKR ezek alapján biztonságos iniciálást kínál nem gyutacsérzékeny robbanóanyagok esetén is

### 2.3.8 Hess-féle brizancia mérése (MSZ 14-05065-89)

A brizancia szó a robbanóanyagok munkavégző képességére vonatkozik. Használata elsősorban a homogén robbanóanyagok esetében elterjed, ahol a TNT, PETN, RDX, HMX, HNS, NTO és a többi nagy munkavégző képességű robbanóanyagot a szakirodalom brizáns robbanóanyagoknak nevezi. A munkavégző képesség kifejezésére és mérésére sokféle módszer terjedt el [87 pp. 17-30], amelyek leírása és kivitelezése túlmutat az



értekezés keretein. A robbanóanyagok brizanciájának mérésére napjainkban rengeteg egyéb módszert is alkalmaznak.

A TKR munkavégző képességét a Hess-féle brizancia teszt alapján vizsgáltam, mely egy nagyon régóta alkalmazott eljárás. Feltalálója Philipp Hess<sup>63</sup> osztrák tiszt és hadmérnök (1845-1919) volt. Hess 1872-től 1884-ig a császári és királyi hadi főiskolán természettudományokat tanított. 1884-ben kinevezték az Ausztria-Magyarországon engedélyezett robbanóanyagok vizsgálatára létrehozott bizottság elnökévé. Az általa kifejlesztett vizsgálat során ólomhengerek deformációjának mértékét vizsgáljuk, és ebből lehet következtetni a robbanóanyag munkavégző képességére, erejére. A technika fejlődésével a vizsgálatot már felváltották korszerűbb mérési módszerek. Éppen emiatt nincs európai szinten egységesítve a brizancia vizsgálat, azt nemzeti szinten szabályozzák. Magyarországon a MSZ 14-05065-89 szabvány írja le a javasolt végrehajtási módszert. Egyszerűségénél, költséghatékonyságánál és könnyű kivitelezhetőségénél fogva a Hess-féle brizancia mérés a mai napig használatban maradt. A vizsgálat lényege, hogy két 40 mm átmérőjű, 30-30 mm magas ólomhengeren, 100 g mennyiségű robbanóanyag kettő 40 mm átmérőjű, 4 mm vastag acélkorongon keresztül mekkora összenyomódást hoz létre. Országonként változó, hogy mekkora méretű ólomhengert alkalmaznak, azonban az összenyomódás mértéke mindenképpen mérhető. Általánosságban ez egy összehasonlító vizsgálat, mellyel több robbanóanyag brizanciáját hasonlítják össze ugyanolyan vizsgálati elrendezésben. Mivel a roncsolás és összenyomódás mértéke a detonációsebesség növekedésével arányos, ezért a felhasznált robbanóanyag tömege szükségszerűen csökkenthető, hogy elkerüljük az ólomhenger teljes roncsolódását. Vizsgálatom során a TKR-t egy mikroszférával érzékenyített emulziós robbanóanyaggal hasonlítottam össze. Az emulziós robbanóanyag detonációsebessége 200 g boosterrel indítva, 80 mm átmérőjű, 5,6 mm falvastagságú acélcsőben 5900 m/s, 77 mm átmérőjű 18 mm falvastagságú műanyag csőben szintén 200 g boosterrel 3800 m/s. Az emulziós robbanóanyag a Hess-próba során 10,1 mm, a TKR 19,0 mm összenyomódást eredményezett. A 9. ábrán jól látható, hogy a két robbanóanyag munkavégző képessége közötti szignifikáns különbség. Ez a nagyobb gáznyomásnak és a detonációsebességnek köszönhető, emiatt a roncsolás mértéke is kiterjedtebb. Bal oldalon a kiinduló állapot, középen az emulziós robbanóanyag, míg a jobb szélén a TKR robbanásának eredménye látható.

---

<sup>63</sup> A magyar nyelvű szakirodalomban Hess Fülöp néven olvashatunk róla.



9. ábra: Hess-féle brizancia vizsgálat eredményei<sup>64</sup>

A robbanóanyag munkavégző képességét lehet növelni fémporok hozzáadásával. Ilyen por jellemzően az alumínium, amelynek kedvező hatását például a víz alatti robbanótestek, torpedók, tengeri aknák töltésére használt robbanóanyagoknál is igénybe vették (Torpex). A polgári robbantástechnikában olyan helyen használják fel robbanóanyag keverékekben, ahol szükséges lehet a nagyobb brizanciára. Ez lehet például kemény kőzetekhez szükséges robbanóanyag, plasztikus robbanóanyag. Használata során a robbanóanyag keverék fémtartalmának beállítása alapos kidolgozást igényel, mivel csak egy bizonyos százalékban jelenik meg előnyös tulajdonsága [88 pp. 99-113].

A TKR megbízható iniciálásának és stabil detonációjának szemléltetésére az alábbi képen látható kísérleti robbantást végeztem el. A 10. ábrán megfigyelhető, hogy egy 1,6 mm falvastagságú, 18 mm átmérőjű polietilén csőben elhelyezett 80 g TKR robbanását követően, a 10 mm vastag alumínium lemezen alig észlelhető, hogy melyik irányból történt az iniciálás. A lemez a robbanás hatására erőteljesen deformálódott.



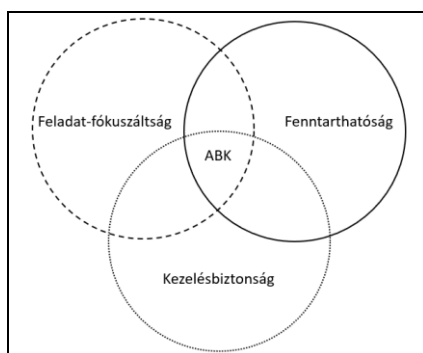
10. ábra: Alumínium tanulemez a stabil detonáció szemléltetésére<sup>65</sup>

<sup>64</sup> A szerző saját képe.

<sup>65</sup> A szerző saját képe.

### 2.3.9 A mérési eredmények összesítése

Az előző fejezet bevezetőjében említett 2014/28 EU Direktívában meghivatkozott alapvető biztonsági követelmények (ABK) valójában ugyanazt a hármas tagozódást (11. ábra) követelik meg amelyet bármilyen más fejlesztés megkíván. Egy olyan optimum pontot, amely biztosítja, hogy a termék biztonságos használata mellett elegendő teljesítményt nyújtson a feladat végrehajtására, és a környezetet minimális módon terhelje. [4 p. 48]



11. ábra: Az alapvető biztonsági követelmény hármas metszete <sup>66</sup>

Az elvégzett vizsgálatok alapján a TKR megfelelt az alapvető biztonsági követelményekben foglaltaknak és így az forgalmazható lenne. A vizsgálatok eredményeit az alábbi táblázat tartalmazza.

| Szabvány        | Témakör             | Mért érték           | Követelmény   | Eredmény                                  |
|-----------------|---------------------|----------------------|---|---|
| EN 13631-2      | Hőállóság*          | [°C]<br>[bar]        | Referencia anyagtól $\pm 3^\circ\text{C}$ eltérés; max. 0,6bar nyomásemelkedés a mintán | +0,2°C; +0,42bar                          |
| EN 13631-4      | Ütésérzékenység*    | [J]                  | Érzéketlenebb, mint 2J  | 15-20J                                    |
| EN 13631-3      | Dörzsérzékenység*   | [N]                  | Érzéketlenebb, mint 80N   | 360N+                                     |
| EN 13631-7      | Extrém hőállóság    | [°C]                 | Megbízhatóan indítható  | Megfelelt                                 |
| EN 13631-10     | Indíthatóság*       | -                    | Detonációsebessége a Gy.s. szerinti   | Megfelelt                                 |
| EN 13631-13     | Sűrűség*            | [g/cm <sup>3</sup> ] | Gy.s. szerinti érték  | 1,29 g/cm <sup>3</sup>                    |
| EN 13631-14     | Detonációsebesség*  | [m/s]                | Gy.s. szerinti érték  | 5500m/s (1,29 g/cm <sup>3</sup> ; 18mm Ø) |
| MSZ 14-05065-89 | Hess-féle brizancia | -                    | Viszonyszám, nincs értékelése.  | 19,0mm                                    |

\*: Terméktanúsítás esetén kötelező vizsgálat.

12. táblázat: Az TKR megfelelőségi vizsgálatai összesített eredménye

<sup>66</sup> Saját szerkesztés.

## 2.4 Terméktanúsítás, megfelelőségértékelés, B-Modul

Az általam kifejlesztett TKR-nek, a fent bemutatott megfelelőségi vizsgálatok után még hosszú utat kellene megtennie ahhoz, hogy valóban piacon forgalmazható terméké válhasson. A következőkben ezt a szabályozott folyamatot mutatom be.

A gyártó<sup>67</sup> abban az esetben hozhatja a robbanóanyagot az Uniós piacon forgalomba<sup>68</sup>, ha az keresztülment egy megfelelőségértékelő szervezet<sup>69</sup> általi megfelelőségértékelési<sup>70</sup> eljáráson, és ott bebizonyosodott, hogy kielégíti a 2014/28 EU Direktíva II. Melléklete szerinti alapvető biztonsági követelményeket (ESR<sup>71</sup>). Ehhez az eljáráshoz a **bejelentett szervezet** harmonizált szabványokat használhat fel. Ezen szabványok tulajdonképpen műszaki tartalmú iránymutatások, amelyek az értékelés technikai értékelő, támogató eszközei.

Az alapvető biztonsági követelmények magyarázata a „*kék útmutató*” szerint: *„A követelmények a felhasználók (általában a fogyasztók és munkavállalók) egészségének és biztonságának védelmére vonatkoznak, de kiterjedhetnek más alapkövetelményekre is (mint például a tulajdon, a szűkös erőforrások vagy a környezet védelme). Az alapvető követelmények célja a magas szintű védelem biztosítása. E követelmények eredhetnek a termékkel kapcsolatos veszélyekből (például fizikai vagy mechanikus ellenállás, gyúlékonyság, kémiai, elektromos vagy biológiai jellemzők, higiénia, radioaktivitás, pontosság), vagy vonatkozhatnak a termékre illetve annak teljesítményére (például az anyagokra, a tervezésre, a felépítésre, a gyártási folyamatra vonatkozó rendelkezések, a gyártó által összeállított használati utasítás), vagy megállapíthatják a védelem elsődleges célját (például szemléltető felsorolás révén). Gyakran ezek kombinációja valósul meg.“* [4 p. 48]

A robbanóanyagok megfelelőségértékelési folyamata úgynevezett két modulós eljárás keretében történik. Az egyik modul a tervezési fázisra vonatkozik (B-Modul) ahol a típus/mintadarab vizsgálata történik, a másik a már előállított termék gyártási szakaszára, ahol a mintadarabot hasonlítják össze a folyamatosan gyártott termékkel.

---

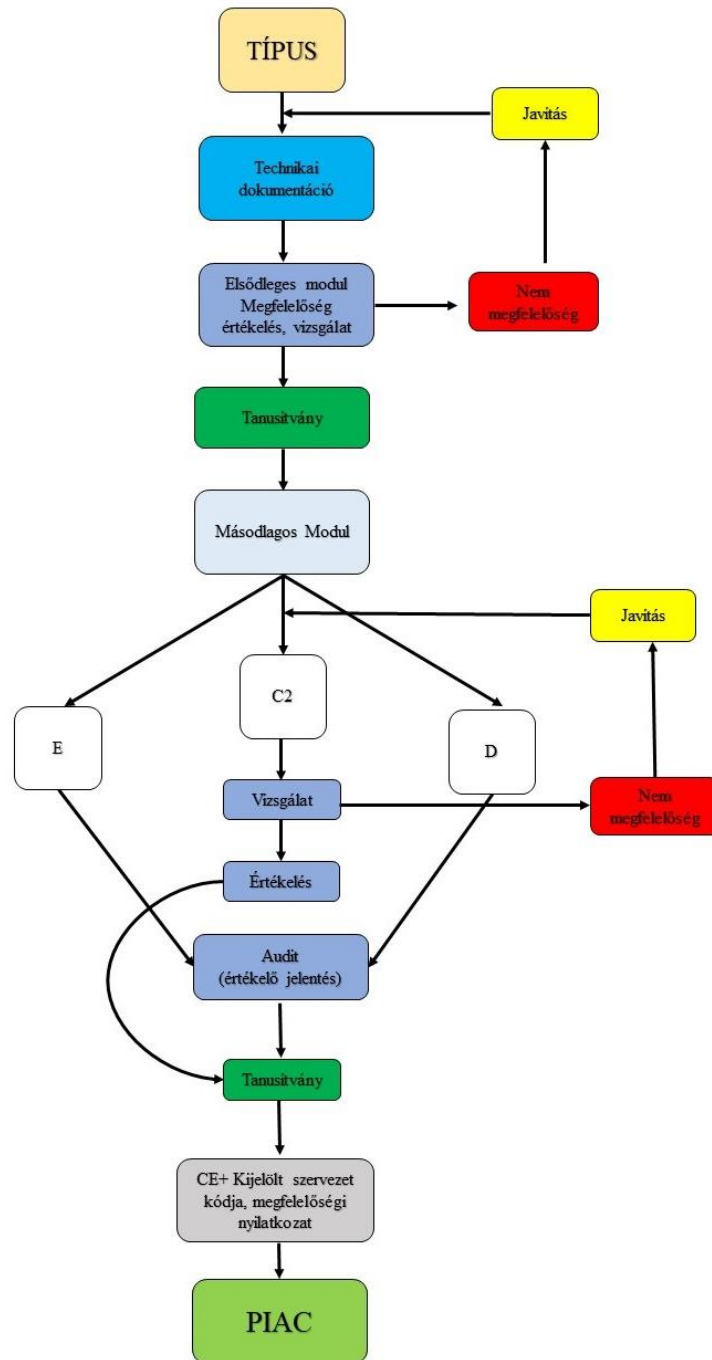
<sup>67</sup> Bármely természetes vagy jogi személy, aki robbanóanyagot gyárt, vagy aki robbanóanyagot tervezet vagy gyártat, és saját neve vagy védjegye alatt forgalmaz vagy saját célra használ - 2014/28 EU 2 cikk 9 alpont.

<sup>68</sup> Egy robbanóanyag első alkalommal történő forgalmazása az uniós piacon - 2014/28 EU 2 cikk 8 alpont.

<sup>69</sup> Megfelelőségértékelési tevékenységeket – beleértve a kalibrálást, vizsgálatot, tanúsítást és ellenőrzést – végző szervezet” – 765/2008/EK 2. cikk 13 alpont.

<sup>70</sup> Eljárás, amely bizonyítja a robbanóanyaggal kapcsolatos, 2014/28 EU irányelvben foglalt alapvető biztonsági követelmények teljesülését.

<sup>71</sup> ESR: Essential Safety Requirements – Alapvető Biztonsági Követelmények.



12. ábra: A terméktanúsítás folyamatának sematikus ábrája<sup>72</sup>

Mindegyik termék alapja, illetve a terméktanúsítás első lépcsője az úgynevezett EU-típusvizsgálat (B. modul). A 2014/28 EU Direktíva III. mellékletének 1-2 pontja szerint: „Az EU-típusvizsgálat a megfelelőségértékelési eljárásnak azon része, amelynek keretében a bejelentett szervezet megvizsgálja a robbanóanyag műszaki tervezését, valamint ellenőrzi

<sup>72</sup> Szerkesztette a szerző a „Kék Útmutató” alapján.

és tanúsítja, hogy a robbanóanyag műszaki tervezése megfelel ezen irányelv rá vonatkozó követelményeinek.

Az EU-típusvizsgálatot úgy kell elvégezni, hogy értékeli a robbanóanyag megfelelő műszaki tervezését a műszaki dokumentáció és a 3. pontban említett alátámasztó bizonyítékok vizsgálata, valamint a teljes terméknek (a gyártási típus és a tervezési típus kombinációjának) a tervezett termelést képviselő valamely mintadarabjának vizsgálata révén.”

A fejezet elején említett és felsorolt szabványok a típusvizsgálathoz kapcsolódnak, és azt a célt szolgálják, hogy a gyártó által állított műszaki paraméterek a vizsgáló szervezet által elvégzett tesztek során is bizonyosságot nyerjenek.

Minden vizsgálat végső fázisa az eredmények értékelése, amihez a szükséges kritériumok a követelményekre vonatkozó szabványban találhatóak meg. Ebben minden egyes vonatkozó vizsgálat megfelelőségi határértéke szerepel, emellett a végén található az un: ZA melléklet<sup>73</sup> is, amelynek feladata az említett irányelv alapvető biztonsági követelményeinek való megfeleltetés. Jelen esteben a robbanóanyagokra vonatkozó követelmény szabvány [89 p. 8] összefoglaló táblázata az alábbiakban látható.

| <b>Alapvető követelmények</b> | <b>E szabvány követelményei</b>                  |
|-------------------------------|--|
| I.1                           | 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 és 4.6                   |
| I.2                           | 4.4, 4.5, 4.6, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 és 5.2 |
| II.1(a)                       | 4.10, 4.11 és 4.12                               |
| II.1(b)                       | 4.1, 4.4, 4.5, 4.6 és 4.7                        |
| II.1(c)                       | 4.2 és 4.3                                       |
| II.1(d)                       | 4.1 és 4.6                                       |
| II.1(f)                       | 4.4 és 4.5                                       |
| II.1(g)                       | 4.6  |
| II.1(h)                       | 5.2  |
| II.1(j)                       | 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 és 4.9                   |
| II.1(m)                       | 4.8  |
| II.2.A(a)                     | 4.6 és 4.8                                       |
| II.2.A(b)                     | 4.6 és 4.9                                       |
| II.2.A(c)                     | 5.1  |

*13. táblázat: A robbanóanyagok vizsgálati szabványának és az irányelv biztonsági követelményeinek összefüggései*

Fontos megjegyezni, hogy a fenti táblázat a korábbi, már nem hatályos 93/15 EEC Direktíva biztonsági követelményeire vonatkozik. A robbanóanyagokra, robbanószinórokra, gyutacsokra és lőporokra vonatkozó teljes szabványsorozat jelenleg az

<sup>73</sup> ZA melléklet: Harmonizált szabványok informatív melléklete, amely a direktíva és a szabvány összefüggéseit és követelményeit tárgyalja.

Európai Szabványügyi Bizottság (CEN) által átdolgozás alatt van, mivel a 2003-2005-ös kiadásuk óta nem történt meg a frissítésük. Ezért az EN 13631-1:2005 szabvány ZA melléklete még az eredeti formájában létezik, viszont a 2014/28/EU Irányelv VI. melléklete tartalmazza a két irányelv ESR-jének egymáshoz való megfeleltetését. Mindezekből jól látható milyen részletes és összetett összefüggés rendszerben helyezkedik el a megfelelésértékelés.

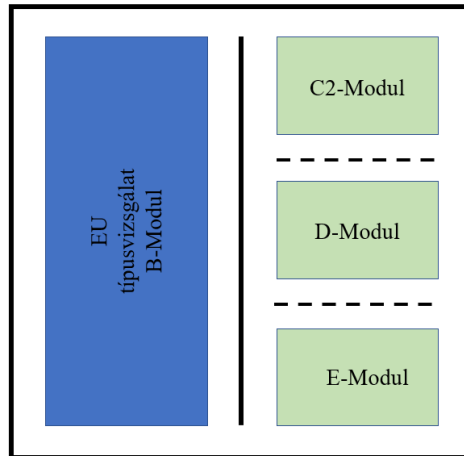
Ha a termék vizsgálatai során eltérés, hiba vagy más nem-megfelelőség miatt nem felel meg, akkor azt a gyártó a folyamat befejezésének érdekében javítja a terméken. Ha ez megtörtént, akkor a termék új vizsgálata válik szükségessé, és csak ez után történhet meg a típus-tanúsítvány kiadása. A B-modul tanúsítványnak nincs érvényességi ideje, ez a dokumentum örök érvényű, ameddig a tanúsítványban leírt termék paraméterek nem változnak.

A sikeres értékelés után a gyártó elhelyezi a terméken a CE jelölést, mellyel a gyártó kijelenti, hogy a termék megfelel az Unióban használt harmonizált szabványoknak. A kijelölt szervezet ennek a gyártónak átadja a vizsgálati jelentést, az értékelő jelentést és az EU-típustanúsítványt. Az első dokumentum tartalmaz minden vizsgált műszaki paramétert, jellemzőt a termékre vonatkozóan, az elvégzett vizsgálatok szabványok szerinti hivatkozásával. Az értékelő jelentés tartalmazza a harmonizált szabványok és a Direktíva alapvető biztonsági követelményeivel való összevetését és értékelését, amely a végső döntés a termék minőségének megítélésében.

A *TKR robbanóanyag*ra elkészíttem egy *minta B-modul vizsgálati jegyzőkönyvet* (6. számú melléklet), egy *B-modul értékelő jelentést* (7. számú melléklet) és egy *Tanúsítványt* (8. számú melléklet).

## **2.5. Gyártás ellenőrzésre vonatkozó másodlagos modul (D-modul)**

A gyártó csak a B-modullal még nem viheti a piacra a robbanóanyagot, ahhoz a *13. ábrán* is látható gyártási fázist ellenőrző valamelyik 3 modul közül kell választania. A D és az E modulhoz célszerűen minőségirányítási rendszer szükséges, mivel a gyártásközi mérések, ellenőrzések, és azok dokumentálása csak egy rendszerszemléletű rendszerben valósítható meg megfelelően. A C2 modul egy minőségirányítási rendszert nem igénylő választás olyan üzemeknek részére, ahol egyszerűbb terméket gyártanak (pl. ANDO-t) vagy éppen frissen indult a gyártás, és még nem épült ki vagy alakult ki a megfelelő minőségirányítási rendszer. [69 pp. 31-36]



13. ábra: A megfelelőségértékelés alapját képező kettős modulstruktúra <sup>74</sup>

Robbanóanyag sorozatgyártás, vagy összetettebb termék esetén sokkal célravezetőbb a D-modul használata ezért csak ezt részletezem. A „kék útmutató definíciója” szerint:

*„A gyártás minőségbiztosításán alapuló EU-típusmegfelelés, A gyártó az EU-típusnak való megfelelés biztosítása érdekében a gyártási eljárásra (a termék előállítására és a végtermék ellenőrzésére) vonatkozó minőségbiztosítási rendszer működtet. A bejelentett szervezet értékeli a minőségbiztosítási rendszert.”* [4 p. 6] Az ellenőrzés célja minden olyan körülmény, elem, emberi tényező ellenőrzése, amely hatással van a végtermék minőségére és annak ellenőrzése, hogy a gyártó milyen módon biztosítja, hogy a gyártott termék mindegyike teljesen azonos azzal a termékkel, amit a EU típusvizsgálására biztosított. Fontos szempont a gyártásközi ellenőrzés, az alapanyagok és a gyártás folyamatának, értékeinek dokumentálása, archiválása, amely lehetőséget biztosít arra, hogy minden gyártott sorozat visszakövethető legyen, és ezáltal a végfelhasználó által vélt vagy lelt bármilyen hiba, nem megfelelés felderíthető és a gyökér ok elemzés megtartható. Belátható, hogy ez a minőségirányítás rendszer és -szemlélet hiányában nehezen megvalósítható. Ez a megfelelőségértékelés (audit) mindig a gyártóhelyen történik, célszerűen a teljes folyamatot megfigyelve az alapanyag érkezésétől, egészen a végtermék elkészítéséig, amelybe beletartozik a csomagolás és címkézés ellenőrzése is. Amennyiben nem megfelelés (NMF) jelentkezik az audit során azt a gyártó annak súlyosságától függően javítja.

Mivel ez a fajta ellenőrzés jellemzően 2/3-1/3 arányban dokumentáció és rendszer szemléletű, ezek a javítandó elemek inkább a minőségirányítási rendszer hiányosságaihoz vagy problémás elemeihez köthetők.

<sup>74</sup> Szerkesztette a szerző a 2014/28 EU irányelv alapján



Amennyiben az audit során NMF nem fordult elő, illetve azok javításra kerültek, abban az esetben a Kijelölt szervezet képviselője a folyamatot sikeresnek és befejezettnek minősíti. Kiadja az értékelő jelentést és a D-modul tanúsítványát ami 1-3 év időtartamra érvényes. Ebben az esetben már megvan a típus és a gyártás modulja is, és a termék piacra helyezhető. Azonban a gyártónak a megfelelőségi nyilatkozatot még el kell készítenie, valamint a csomagoláson, illetve terméken a CE jel mellé fel kell tüntetnie a kijelölt szervezet egyedi azonosítóját.

Jelenleg az Európai Unióban 1 darab tanúsított bináris robbanóanyag van. Ez a termék a EPC Group Nitroroc S4-24 nevű terméke, amelyet kifejezetten lavinarobbantásokhoz ajánlanak. Ez egy, a klasszikus nitrometánt és EDA-t tartalmazó keverék. Adalékként tartalmaz benzilamin-t amely a NM-al reakcióba lépve azt 24 óra után közömbösíti. A robbanóanyag teljesen folyékony állagú, kizárólag Franciaországban és Belgiumban használták.

### 3 A TKR SPECIÁLIS FELHASZNÁLÁSI LEHETŐSÉGEINEK VIZSGÁLATA

A kifejlesztett TKR gyakorlati alkalmazásának legegyszerűbb módja, ha a komponensek összekeverését követően a csomagoló műanyag tartályt, az adott feladat függvényében külső összpontosított vagy nyújtott rátett töltetként használjuk. Ezáltal használható egyes szerkezeti elemek robbantására, vagy például batározáshoz<sup>75</sup>. Az általam kifejlesztett robbanóanyag azonban ennél sokkal több lehetőséget hordoz magában, melyeket az alábbi, gyakorlati kísérletekkel is bizonyított példákkal igazolok.

A TKR robbanóanyagot és a felhasználásával készült speciális tölteteket az elmúlt években 4 bemutató keretében ismertettem meg a szakmai közösséggel. Tematikailag minden alkalommal a résztvevő felhasználói csoportra fókuszálva szerveztem meg ezeket a gyakorlatokat:

1. A Magyar Robbantástechnikai Egyesület, a Magyar Katonai Logisztikai Egyesület, az Óbudai Egyetem BGBMK Biztonságtudományi Doktori Iskola és a Magyar Hadtudomány Társaság Műszaki szakosztály társzervezésében létrejött bemutató: *általános polgári tematika szerint.*
2. A MH 1. Honvéd Tűzszerész és Hadihajós Ezred<sup>76</sup> szakembereinek tartott bemutató: *tűzszerész feladatok ellátásához kapcsolódó tematika szerint.*
3. A MH 5. Bocskai István Lövészdandár, Művelettámogató Műszaki Zászlóalj<sup>77</sup> műszaki szakembereinek bemutatója: *műszaki támogatási feladatok ellátásához kapcsolódó tematika.*
4. A MH 2. vitéz Bertalan Árpád Különleges Rendeltetésű Dandár<sup>78</sup> résztvevőivel végrehajtott bemutató: *különleges műveleti feladatok ellátásához kapcsolódó tematika.*

Ezekről a bemutatókról az 1-4. számú mellékletekben számolok be. Összegzett következtetésként az alábbi tapasztalatok vonhatók le a bemutatókról:

- Egyik esetben sem történt töltetmegállás.
- Mindegyik bekevert robbanóanyag töltet iniciálása megvalósult.

---

<sup>75</sup> Másodlagos aprítás, vagy batározás: a lerobbantott készletben található, vagy szabadon álló túl nagy méretű, rakodásra vagy további feldolgozásra alkalmatlan tömbök utólagos aprítása robbantólukba helyezett, vagy rátett töltettel.

<sup>76</sup> Jelenlegi nevén: MH 1. Tűzszerész és Folyamőr Ezred

<sup>77</sup> Jelenlegi nevén: MH Bocskai István 11. Páncélozott Hajdúdandár

<sup>78</sup> Jelenlegi nevén: MH Vitéz Bertalan Árpád 1. Különleges Műveleti Dandár

- Mindegyik robbantás a vártnak megfelelően történt.
- Egyöntetűen pozitív fogadtatása volt minden esetben.
- Mindegyik csoport felhasználható és hasznos terméként értékelte.
- Mindegyik csoport látta a TKR helyét és alkalmazási lehetőségét a saját szakterületén belül.

### **3.1. Helyszínen tölthető kumulatív töltet készítése TKR-rel**

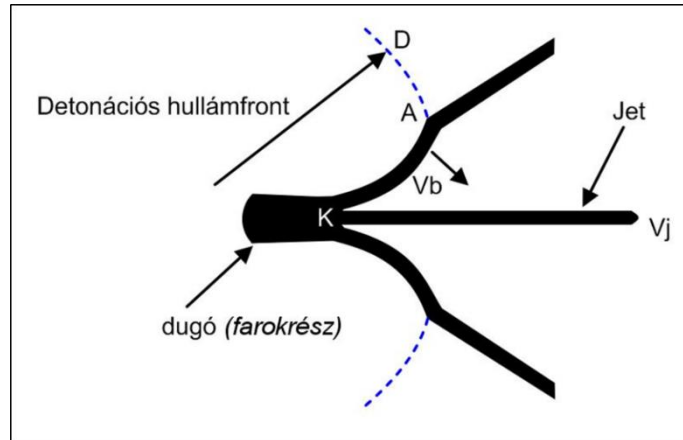
A civil robbantástechnika területén a kumulatív töltetek csak marginális szerepet töltenek be. A lineáris vágótölteteket fémszerkezetek bontásához, az összpontosított tölteteket (perforátor) pedig az olajipar használja fel. Leginkább a katonai felhasználásuk terjedt el a páncélelhárító tüzérségi löszerekben és rakéta fegyverekben. Emellett a műszaki csapatok használnak különböző alakos tölteteket rombolási feladataikhoz, illetve a harcjárművek fenékpáncélja elleni szárazföldi aknákban alkalmaznak kumulatív töltetet. Ez utóbbival kapcsolatban korábban már tisztáztam, hogy a TKR műszaki harcanyagokban történő alkalmazásának esetleges lehetősége olyan összetett mérnöki feladat lenne, melynek elvégzése nem képezhette ennek az értekezésnek a részét. Ugyanakkor a helyszínen tölthető kumulatív összpontosított és lineáris vágótölteteket már az 1950-es években is alkalmazták, ahogy ezt az 1. fejezet amerikai tüzserész példájában be is mutattam. A gyakorlati életben ehhez az előre gyártott töltet házat (burkolatot) plasztikus robbanóanyaggal töltötték meg. A kísérleteimnél feltételeztem, hogy ugyanez elvégezhető az összekeveréskor folyékony állapotú TKR-rel is, mely a töltet burkolatba öntve teljesen kitölti azt, majd a fázis-visszaalakulási idő után akármilyen irányba forgatható a töltet, mivel abból nem fog a robbanóanyag kifolyni.

Ahhoz, hogy a TKR-ből helyszínen tölthető kumulatív töltetet tudjak készíteni, tanulmányoznom kellett az üreges töltetek működésének komplexitását. Az ezzel kapcsolatos kutatásaim eredményeit egy korábbi cikkemben az alábbiak szerint foglaltam össze. [90 pp. 196-211]

#### **3.1.1. Üreges töltetek működése, a kumuláció kialakulása**

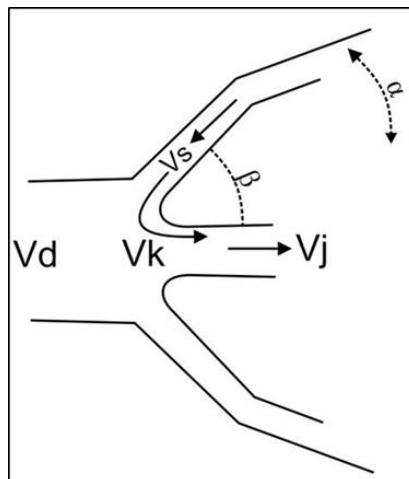
Az üreges töltetekről általánosságban elég sok információ létezik, ezek egy része sajnos a modernkori információáramlás és a média okozta eltérések miatt tudománytalan. Emellett ennek a területnek a fejlődése a korábbi fejezetben is látszóan csak a 20. század első negyedében indult meg, és sokáig még akkor sem tudták tisztázni a pontos részleteit. Napjaink tudományos vizsgálatait viszont teljesen feltárták már a mögöttes fizikai

tényezőket. A kumuláció folyamatának magyarázata jobban átlátható a következő ábrák segítségével.



14. ábra: A béléskúp átalakulása a detonációs front hatására [91 pp. 563–582]<sup>79</sup>

A 14. ábrán látható **T** időpillanatban a gömbfelületen **D** detonációs sebességgel tovaaterjedő detonációs hullámfront a béléstest kúpjának csúcspontját már elhagyta és az **A** átalakulási pontban robbanóanyagra jellemző sebességhez közelítően gyorsítja a béléstest anyagát, amely **V<sub>b</sub>** sebességgel halad tengelyirányban. A **V<sub>b</sub>** sebességet több tényező befolyásolja, például: a kúp anyagának vastagsága, sűrűsége, felülete, robbanási sebessége. A béléstest anyagának egy részét már a **K** kollíziós pontban összepréselte. A tengelyirányú áramlás hátsó részében a dugó, első részében pedig a nagyobb sebességű jet képződése indult meg, amely **V<sub>j</sub>** sebességgel halad a céltárgy felé.



15. ábra: A kollíziós pontban végbemenő anyagáramlások [91 p. 571]<sup>80</sup>

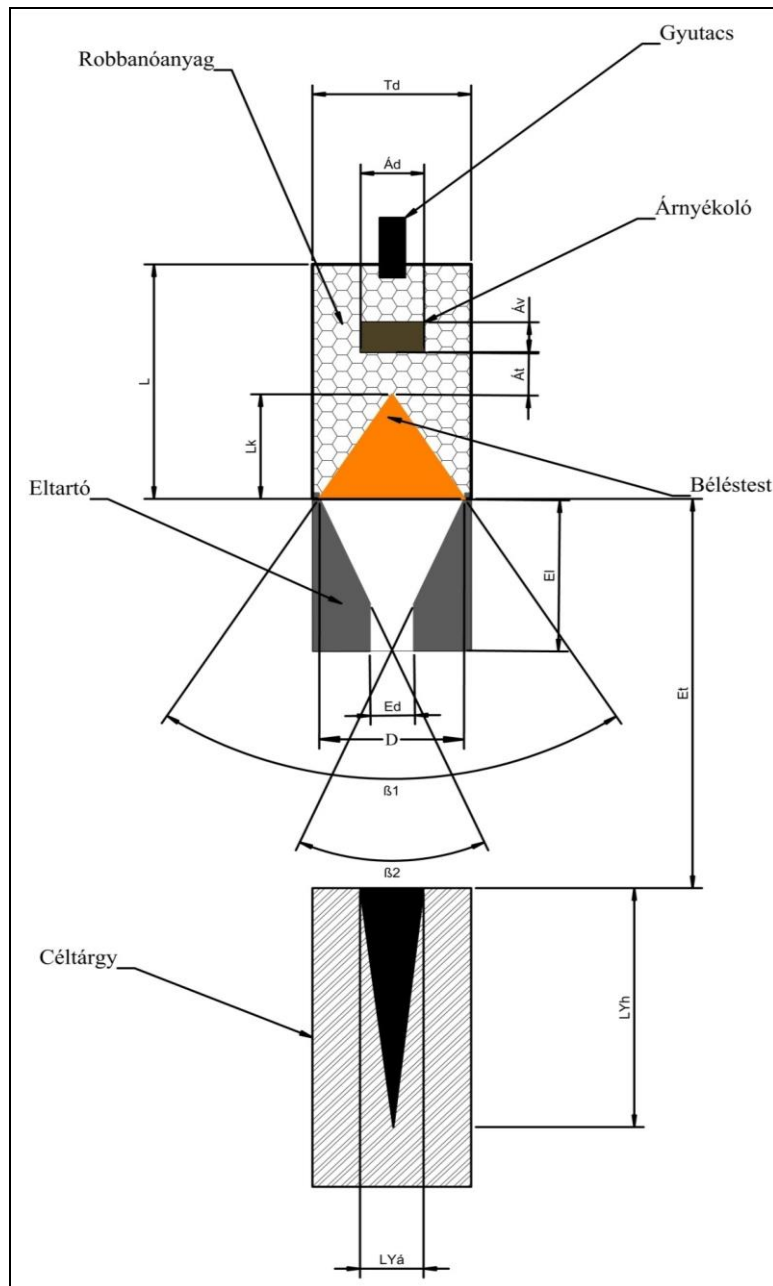
<sup>79</sup> A hivatkozott irodalom alapján szerkesztette a szerző.

<sup>80</sup> A hivatkozott irodalom ábrája alapján szerkesztette a szerző.

Az 15. ábrán látható, hogy a **K kollíziós pont** a jet irányába mozog  $V_k$  sebességgel, a nyomás hatására összepréselődő béléstest anyaga  $V_b$  sebességgel halad tengelyirányba, ahol felveszi majd a  $V_s$  megfolyási sebességet. A  $\beta$  szög az a kollíziós szög, amely a béléstest tömegének, a robbanóanyag tömegének és detonációsebességének függvényében alakul ki, összefüggésben az  $\alpha$  kúpszöggel. A kollíziós (átalakulási) pontban a nyomásértékek elegendőek ahhoz, hogy a béléstest plasztikus állapotba kerüljön, és meginduljon a tengelyirányú áramlás, azaz a jet kialakuljon. A jet sebessége  $V_j = V_k + V_s$  lesz. A jet farok részében kialakuló, ellentétes irányú dugó sebessége szintén  $V_j = V_k + V_s$  azonban ezt lassítja a robbanási gázok vele ellen tétes irányú áramlása. A  $\beta$  szögre vonatkozóan van néhány ökölszabály, melyek a bélés anyagával vannak összefüggésben, mely szerint legalább  $5^\circ$ - $10^\circ$  között kell lennie. Annak ellenére, hogy a jet ezekben a szögtartományokban is kialakul, a sugár még jelentősen szóródhat és nem képes komolyabb átütésre. Azonban  $25^\circ$ - $50^\circ$  között már összetartó, jó átütési képességű sugár érhető el. Ennél nagyobb szögtartományokban nem alakul ki kumuláció, csak egy nagy sebességgel mozgó béléstest. Azonban ez is rendelkezik hadiipari alkalmazással, ez az úgynevezett EFP (*explosive formed projectile*) amely harcjármű elleni aknáknak kerül leginkább alkalmazásra. A  $V_j$  jetsebesség nem koherens, mivel az egységnyi béléstest felületre nem azonos mennyiségű robbanóanyag jut. Ezt hívják változó **M/C aránynak**, azaz a kúp alapjához közeledve növekszik az M/C arány. A jet szétszakadása egyrészt a sugár inhomogenitása miatti eltérő sebességarányok miatt következik be, másrészt a nyúlás miatt már nem képez egységes sugártestet, harmadrészből pedig a rugalmas anyagban terjedő oszcilláló mozgás is hozzájárul a jet szétszakadásához. A fentiekből látható, hogy a sugár kialakulása komoly hidrodinamikai törvények szerint történik melyek matematikai és fizikai paramétereit csak felszínesen, nagyvonalakban érintettem. Azonban az így létrejött gázsugár, munkára fogható része csak a bélés súlyának 15-20%. A többi része a dugóban marad és 1 km/s vagy az alatti sebességgel halad, míg az orr-része a 8-10 km/s sebességgel mozgó  $500$ - $700^\circ\text{C}$  felületi hőmérsékletű jet. Ez a céltárgynak ütközve az érintkezési felületen elkezd mélyedést formálni. A  $20$ - $200$  Gpa közötti nyomásértékeken a céltárgy folyékonnyá válik és tengelyirány mentén, a jet haladásával ellentétes irányban kiáramlik. Ezáltal létrehozva az úgynevezett átütést. Azonban ezeket a későbbiekben tárgyalom. Ahogy azt korábban is megjegyeztem, elég sok téves információ létezik az üreges töltetéről, a fentiek alapján már érthető, hogy a sok esetben használt „plazma” kifejezés, vagy az, hogy több tízezer fokos hőmérsékletű sugárrá alakulva, keresztülégeti magát a céltárgyon az erősen túlzó. [92]

### 3.1.2. Üreges töltetek méretezése

A töltet elkészítésénél azért nagy fontosságú a méretezés figyelemmel kísérése, mert szignifikáns hatással van a kumulatív sugár formájára, átütőképességére és a jet élettartalmára. [93] A robbantástechnikával foglalkozó szakirodalom különböző mélységekben tárgyalja ezt a témakört, azonban a megértéshez szükséges először is a fogalmak és alkotóelemek tisztázása, melyet a kumulatív töltet sematikus ábrája segítségével mutatok be, külön részletezve az egyes jelölések tartalmát.



16. ábra: Egy kumulatív töltet sematikus ábrája <sup>81</sup>

<sup>81</sup> Szerkesztette a szerző

### Rövidítések, jelölések:

|                                |  |  |
|--------------------------------|--|--|
| <b>Td:</b> Töltet átmérő       | <b><math>\beta 1</math>:</b> Béléskúp szöge              | <b>Ed:</b> Eltartó kilépő lukjának az átmérője |
| <b>Ád:</b> Árnyékoló átmérő    | <b>D:</b> Béléskúp átmérője                              | <b>Dk:</b> Béléskúp átmérője                   |
| <b>Áv:</b> Árnyékoló vastagság | <b><math>\beta 2</math>:</b> Eltartó ellenkúpjának szöge | <b>Et:</b> Eltartási távolság                  |
| <b>Át:</b> Árnyékoló távolság  | <b>E1:</b> Eltartó ellenkúpjának magassága               | <b>LYh:</b> Lyukhossz                          |
| <b>Lk:</b> Kúp magasság        |  | <b>LYá:</b> Lyuk átmérő                        |
| <b>L:</b> Töltet hosszúsága    |  |  |

### Az ábrán látható jelölések fogalom-magyarázata:

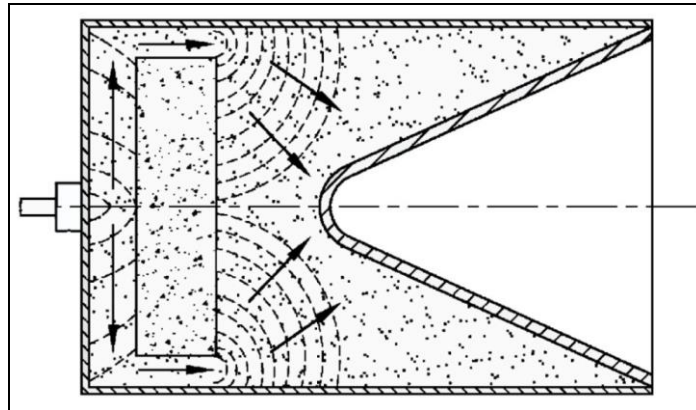
#### **Ta: Töltet átmérő**

Bár az ábrán az átmérő alatt a teljes test átmérőjét értem, meg lehet különböztetni a robbanóanyag töltet átmérőjét és a teljes átmérőt is. Értelemszerűen a kettő között lényegi különbség nincs, hiszen a robbanásban a burkolat nem vesz részt, annak a hatása nem jelentős. Természetesen jelenthet különbséget egy nehéz nagy sűrűségű burkolat egy könnyű burkolattal szemben, de ennek a gyakorlati jelentősége minimális. Abban azonban komoly szerepe van, hogy a bélést mennyire fedi, azaz mennyi robbanóanyag van egységnyi levetített béléstesten. Éppen a miatt, mert a szélei felé egyre kevesebb robbanóanyag van, így annak kevesebb szerep jut, szinte csak az, hogy a képződött jetet minimálisan stabilizálja. Általánosságban  $1,0-1,1D$ -vel szoktak számolni tervezéskor, attól függően, hogy öntött vagy préselt robbanóanyag.

#### **Áa: Árnyékoló átmérő**

Az árnyékoló betét átmérője és kialakítása különösen nagy jelentőséggel bír. A betéthez érkező detonációs hullámfront nem tud az inert anyagban tovaterjedni ezért a front megkerüli azt és az árnyékoló végén terjed tovább. Ennek az a jelentősége, hogy a központi, tengelyirányú indítás esetén keletkező gömbfelületű robbanási frontot megtöri, és hullám a betét szélétől egy gyűrű metszetű frontot hoz létre, amely kedvezőbb támadási szöggel érintkezik a béléstesttel és egy „görgőző” formában kezdi a jet kialakítását a béléskúpból. Ennek a folyamatnak jelentős hatásai vannak az átütőképesség növelésében. Ezekon túl a béléstest formája, és anyaga is fontos tényező. A kedvezőbb hatást olyan anyaggal lehet elérni, amelyben a hang terjedési sebessége alacsonyabb, mint a

robbanóanyag testben. Bakelit, textilbakelit, térhálós hab betétek és légrés is előfordul a felhasznált anyagokban.



17. ábra: Az árnyékoló betét hatásmechanizmusa [94]<sup>82</sup>

#### **Á<sub>v</sub>: Árnyékoló vastagság**

Az árnyékoló, (angolul waveshaper – hullámformáló) vastagságának abban van szerepe, hogy a detonációs front hulláma ne tudjon betét kúp felőli oldalán iniciálást létrehozni, hanem rákényszerüljön annak „megkerülésére”. Így az inert anyagban terjedő hangsebesség és a mérete egyszerre határozza meg a méretezést.

#### **Á<sub>t</sub>: Árnyékoló távolság**

Az előző két pont következtetéseit levonva: az a távolság a méretezés szempontjából a megfelelő, ahol a körgyűrű szerű detonációs hullámok már a kúp csúcsára érkezve azt egyenletesen tudják formálni. Azaz az eredő kúpra ható terhelés vektora nem a kúp tengelyirányában hat, hanem az a palásttal közel merőleges.

#### **L<sub>k</sub>: Kúp magasság**

A kúp magasságának változása együtt mozog az átmérővel és értelemszerűen a kúpszöggel. Általánosságban 1,3D-t tartanak optimálisnak.

#### **L: Töltet hosszúsága**

A töltet hosszúsága a kúp alapjától a robbanóanyag iniciálás felőli végéig terjedő hossza. Méretezéseknél 1,7D távolságot tartják alapértéknek. Amennyiben ennél kisebb akkor előfordulhat, hogy a robbanás nem tudja létrehozni a bélés teljes átformálást, amennyiben nagyobb mint 1,7D, abban az esetben már nagyon kicsit növekszik a teljesítmény, sőt egy idő után nem lesz szerepe a jet formálásában, és egyszerűen túl sok robbanóanyag kerül felhasználásra, ami nagyobb környezeti terhelést és lökeshullámot eredményez.

<sup>82</sup>Hivatkozott irodalom 1. sz. kép alapján



### **$\beta_1$ : Bélés kúp szöge**

Az általánosságban használt kúpszög  $55^\circ$ - $60^\circ$  körül van. Azonban egész sorozat van használatban  $18^\circ$ -tól  $90^\circ$ -ig, attól függően, hogy milyen robbanótestben kerül felhasználásra. A BGM-71 TOW páncéltörő rakéta tandem robbanófejes változataiban például  $30^\circ$ - $45^\circ$  kúpszögű bélés kúpok vannak. Általános ökölszabályként elmondható, hogy a kúpszög növelésével nő a céltárgyon keletkező lyuk átmérője, azonban ugyanazon kúp vastagság mellett, a lyuk hossza nem növekedik. Az USA haderejében nagyobb mennyiségben használják a félgömb alakú béléstestet. Ennek az a praktikus oka, hogy bár vastagabb és lassabb sebességű jetet érnek el, viszont a teljes bélés súlyának 70-80%-a részt vesz a munkában, szemben a kúp alakúak esetében tapasztalt  $\sim 50\%$ -nál. Mindemellett sokkal kevésbé érzékenyek a tengely körüli forgásból adódó szóródásra.

### **$\beta_2$ : Eltartó ellenkúpjának szöge**

Az eltartó méretezésénél elsődlegesen az ellenkúp átmérője az adott, hiszen az ugyanakkora, mint a bélés átmérője (D), mivel ezek szorosan illeszkednek egymáshoz a legtöbb esetben. Formáját tekintve lehet kúp formájú vagy trombita formájú. A trombitaforma a jet hosszabb és pontosabb megvezetését teszi lehetővé, illetve például a kézi páncéltörő gránátvető esetében az íves ellenkúp jobb mechanikai szilárdságot biztosít. Léteznek olyanok is, melyek hosszanti bordázottak a szilárdságnövelés érdekében. A kúp szögének megválasztása azért fontos hogy a jetből képződő, lehető legnagyobb mennyiségű anyagot tengelyirányba tartsa az átütőképesség növelése érdekében.

### **$E_1$ : Eltartó ellenkúpjának magassága**

Ez tulajdonképpen tekinthető az eltartási távolság biztos meglétének is, hiszen legalább akkorának szükséges lennie, mint az optimális eltartási távolságnak. Méretezés szerint:  $1,5D$ - $2,0D$ , azonban lehet nulla is attól függően, hogy milyen felhasználású eszközről beszélünk. Például kézi páncéltörő gránátvetők esetében az iniciálás legtöbb esetben az orrészben elhelyezkedő piezo-gyújtó, céltárgyba csapódásakor indítja a harci részt. Ekkor értelemszerűen nulla az  $E_1$ .

### **$E_a$ : Eltartó kilépő lukjának az átmérője**

Az átmérőnek fordított szerepe van, mivel megakadályozza, hogy a jet becsapódásakor visszaáramló fémrész, olvadék, és gáz a jet hátsó részét megzavarják, illetve a sugár állékonyságát csökkentse. Emellett nagyon fontos, hogy a töltet összeszerelésekor központos legyen, ugyanis ha bármilyen szimmetriai eltérés van, akkor a sugár orrészre sérülhet, illetve az inert anyagba érve veszít abból az energiából.

**D: Béléskúp átmérője**

A legtöbbet emlegetett méret, amit minden méretezésnél alapegységként tekintenek, mivel szinte minden paraméterre hatással van. Szinte mindig kúpról beszélünk, azonban elterjedőben vannak a gúla formájúak is, ahol a gúla oldalainak találkozásánál másodlagos kumuláció alakul ki. Ezeknél az átmérő a gúla alapjának oldalhosszúsága.

**D<sub>v</sub>: Béléskúp anyagának vastagsága:**

A béléskúp vastagsága optimális esetben a D 3-4%-a. Abban az esetben, ha más anyagot kívánnak felhasználni, akkor a tervezésnél először egy rézkúppal számolnak, illetve kiszámolják a rézkúp súlyát. Ebből kiindulva pedig visszaszámolható a másik sűrűségű anyagból készített kúp. A felhasznált anyagok a teljesség igénye nélkül: molibdén, szegényített urán, ólom, alumínium, kerámia, bronz, üveg, nikkelötvözetek, titán stb.

**E<sub>t</sub>: Eltartási távolság**

Ez a távolság tulajdonképpen a béléskúp alapjának távolsága a céltárgytól. A jelentősége abban van, hogy a nagyságrendileg  $10^{-4}$ s alatt formálódó, 8-12 km/s sebességgel haladó jet, ki tudjon alakulni. Ha a távolság túl kicsi, nem jön létre a kúp teljes átalakulása, és átütés helyett egy krátert robbant a céltárgyba. Ha azonban túl nagy az eltartási távolság, akkor a jet kisebb tömegű, vékonyabb, nagysebességű orr-része, különválnak a lassabb, nagyobb tömegű farok résztől, és elkezdődik a jet szétszakadása. A folyamatos sugárból cseppekre szakadó robbanási termék keletkezik, amely teljesítménye rohamosan lecsökken, illetve csak felületi roncsolást végez. Az eltartási távolság összefüggésben van a béléstest kúpszögével is. Kis szögek esetén ( $30^\circ$ -ig) 0,5-1D a javasolt.  $80^\circ$  körüli kúpszögnél 6-8D távolság is szükséges lehet az optimális átütéshez.  $40^\circ$ - $50^\circ$  körül 2-3D a javasolt. Azonban ezek mind teoretikus adatok, mivel ha minden esetben törekednénk az optimális méretezésre, akkor a méretezés könnyen a felhasználhatóság rovására fordulna. Ugyanis olajipari perforátorok esetén vagy egy kumulatív lövedék esetén sincs akkora mozgástér a tervezésnél, mivel mindkét esetben limitált a méret. Éppen emiatt a legtöbb esetben úgy választják meg a kúpszöget és a bélést anyagát – vastagságát, hogy 1D eltartási távolság elegendő legyen.

**LY<sub>h</sub>: Lyukhossz**

Megfelelő méretezés esetén a céltárgyban 4-6D hosszúságú lyuk keletkezik, azonban tandem elrendezésű robbanófejeknél vagy precíziós termékekénél (*perforátor*) 11-12D távolság is megfigyelhető.

## **LY<sub>a</sub>: Lyuk átmérő**

A céltárgyon keletkezett lyuk átmérőjére szintén több minden van hatással. A béléstest vastagsága, kúpszöge, az eltartási távolság az ellenkúp szöge stb. Célszerűen a hosszú és nagy átmérő lenne a praktikus, azonban a tervezés ennek a határmezsgyéjén egyensúlyoz a felhasználási terület szerint. A vizsgálataim szerint a lyuk átmérő általánosságban 0,3-0,4D.

### **3.1.3. Üreges töltetekhez felhasznált robbanóanyagokkal szemben támasztott követelmények**

A kumulatív töltet fizikai paramétereinek tisztázása után, vizsgáltam az abban alkalmazható robbanóanyagokat. A kumulatív töltetekhez felhasznált robbanóanyagok tekintetében egységeseknek mondhatóak az alábbi követelmények:

- ***Megbízható iniciálhatóság***

Az alakos töltetek jellemzően kisméretűek és tömegűek. Indításuk gyutaccsal vagy robbanószinórral (perforátorok) történik, ezért fontos, hogy kellő érzékenységgel rendelkezzenek, ugyanakkor kezelésbiztonságuk ne kerüljön veszélybe.

- ***Stabil és gyors detonáció felfutási távolság***

Különös jelentősége a vágótölteteknél van. Ezek teljes hossza ritkán haladja meg az 50 cm-t. Ezért fontos, hogy a detonáció a lehető legrövidebb időn belül elérje a robbanóanyagra jellemző értéket, és minél rövidebb legyen a felfutási távolság. Ökölszabályként elfogadott, hogy a teljes töltethossz 10%-a nem végez munkát, így azt a vágás esetén a tervezésbe bele kell kalkulálni. Ellenkező esetben az átvágandó céltárgy iniciálási pont felőli vége nem fog átszakadni.

- ***Nagy brizancia***

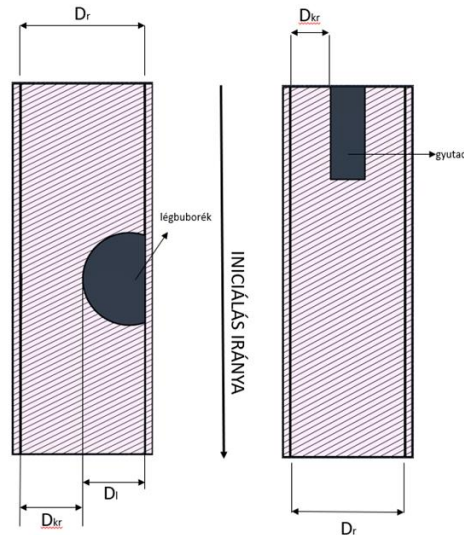
A kumulatív töltetek klasszikus töltő robbanóanyagai a trotil, a kompozit-B, a hexogén és a plasztikus robbanóanyagok. Ezek közül a plasztikus robbanóanyagokat jellemzően helyszíni töltéshez használják, amíg a többi esetében azokat a gyártóhelyen összpontosított tölteteknél öntéssel, lineáris vágótölteteknél a gyártás során a fém szerzet sajtolásakor töltik bele, majd ezután hengerelik a megadott méretűre. Ezek a robbanóanyagok mind magas, 7000 m/s feletti detonációsebességgel rendelkeznek, és teljesítményük is kimagasló.

- ***Kezelésbiztoság, könnyű kezelhetőség***

Amennyiben helyszíni töltést alkalmaznak a robbanótest megtöltésére, akkor napjainkban szinte kizárólag csak a plasztikus robbanóanyagok jöhetnek számításba. Azonban ezeknél

több fontos részlet kritikus módon befolyásolja a vágótöltet teljesítményét. A plasztikus robbanóanyagok többsége hidegben rugalmatlanná válik, kezelésük nehézkes lesz. Töltéskor csak kisméretű darabokat lehet a töltetházba helyezni majd azt töltővesszővel vagy alakos szerszámmal egyenletesen tömöríteni. A töltés közben több probléma is jelentkezhet. Az egyik a változó töltési sűrűség, amely egyenetlenné tudja tenni a vágótöltet teljesítményét, akár jelentősen lecsökkentve azt. A másik a légrés keletkezése a töltetoszlopban. A légrés végső soron a töltet robbanásának a leállítását is tudja eredményezni, mivel az robbanóanyag kritikus átmérője körül a detonációsebesség nem állandó, nagy szórást mutat, ha a légrés ennél is nagyobb méretű, azaz a robbanóanyag töltetoszlop ennél is kisebb lesz, akkor a robbanás teljesen le is állhat.

**Kis kritikus átmérő** Az üreges töltetek töltéséhez olyan robbanóanyagot kell felhasználni, amely stabilan és megbízhatóan robban abban az átmérőben is, ahol a gyutacs kerül behelyezésre. Ugyanis ez az a pont, ahol egy vágótöltet háza és a gyutacs között a legkisebb a távolság az egész töltetoszlopban. Amennyiben a töltetoszlop töltési sűrűsége egyenletes, akkor ez az egyetlen szakasz, ahol a kritikus átmérőnél nagyobb robbanóanyag átmérő kell, hogy jelen legyen, a stabil iniciálás érdekében. Az alábbi ábra szemlélteti a kritikus átmérő jelentőségét.



18. ábra: A kritikus átmérő jelentősége az egyenletes töltés, és iniciálás esetén<sup>83</sup>

A bal oldali ábrán egy adott átmérőjű ( $D_r$ ) töltetoszlop látható, amelyben a töltési inhomogenitás miatt egy légzárvány keletkezett ( $D_i$ ). Az iniciálás után a robbanás hullámfrontja eléri a töltet kritikus átmérőjét jelentő legkisebb átmérőt ( $D_{kr}$ ). Ezen a ponton a robbanás instabillá válhat, a robbanást fenntartó kompresszió a megnövekedett

<sup>83</sup> Saját szerkesztés.

felületarány miatt lecsökken, amely végeredményként a robbanás leállítását eredményezheti. Itt fontos megjegyezni, hogy a robbanás leállításában vagy lassulásában jelentős szerepet kap a beszorítottság. Azaz a robbanóanyag befoglaló környezetének sűrűsége és szakítószilárdsága. A robbanás leállításának valószínűsége fordítottan arányos a töltetoszlop beszorítottságával. Azaz egy vékony műanyag vagy papír ház esetében nagyobb valószínűséggel történik leállítás, mint egy vastag falú fémcső esetén.

Lineáris vágótöltetek esetén ezért fordul elő, hogy az egyenetlen töltés esetén nem áll le a kumuláció, hanem a nem megfelelő jet formálódás miatt, a fémszerkezet átvágása nem lesz tökéletes, mivel a zárvány után újra fel kell épülnie a jetnek. Ilyen hibás töltésű vágótöltet ház működését láthatjuk az alábbi felvételen.



19. ábra: Hibás vágótöltet vágási teljesítményének csökkenése<sup>84</sup>

A kép előterében jól látható, hogy a jet formálódása stabil volt és a fém átvágása megtörtént. Azonban a robbanás instabillá vált, a fémlemezek átvágása nem történt meg, azokat a vörösréz betét csak roncsolta.

A fentiek alapján nyilvánvaló, hogy a vizsgálattal több tulajdonságot lehet egyszerre vizsgálni összetett módon. A TKR az állagánál és konzisztenciájánál fogva alkalmas minden kumulatív töltet egyenetlen, légbuborék mentes megtöltésére. A töltési idő lekorlátozódik a formába öntésre és a töltet mozgatására, mely után a kész töltet elhelyezhető a kívánt felületen.

---

<sup>84</sup> A képet készítette a szerző

Amennyiben bármilyen váratlan ok miatt nincs szükség a vágótöltetre, abból a robbanóanyag keverék kiönthető, szükség szerint megsemmisíthető vagy újra felhasználható anélkül, hogy a felhasználónak fizikális kontaktust kellene létesíteni a robbanóanyaggal.

- ***Könnyű és biztonságos megsemmisíthetőség***

Ha egy robbanóanyag gyártástechnológiájának és felhasználási életciklusának szakaszát nézzük abban az esetben a legköltségesebb rész a robbanóanyag megsemmisítése. A mai napig az egyik legveszélyesebb folyamat, amelyhez egyben a legtöbb baleset is kötődik. A robbanóanyagok megsemmisítése alapvetően kezdeti használatuk óta hasonló módon történik. Történhet robbantással, illetve égetéssel. Beszélünk vegyi úton történő mentesítésről, amikor a robbanóanyagot különböző vegyi anyagokkal bontják el. Azonban ennek a megvalósítása speciális környezetet igényel, és a keletkező alapvetően erőteljesen korrozív vagy más, akár mérgező anyagokat tartalmazó vegyipari termékeket tovább kell a hulladékkezelőnek kezelni ezért ez nem elterjedt módszer. A robbantásos megsemmisítés jelentős környezeti terheléssel jár és több száz kilogramm robbanóanyag esetében szinte megvalósíthatatlan. Az égetés legtöbb esetben zárt térben történik, a keletkezett égéstermékeket vagy megsűrlik vagy valamilyen módon kezelik, hogy azok ne jussanak ki a környezetbe. A brizáns robbanóanyagok megsemmisítése abban az esetben ha az égetéssel történik, megfelelő körülmények között jól kontrollálható, azonban például az emulziós robbanóanyagok esetén, ahol több tíz vagy akár több száz kg-ot szükséges megsemmisíteni ez problémát okoz, mivel a 10-15% vizet tartalmazó robbanóanyagot szinte lehetetlen elégetni. Azt különböző vegyi anyagokkal először el kell bontani, azoknál az emulziós rendszert meg kell szüntetni és az alapanyagot külön kell kezelni. Szükséges hozzátenni, hogy a robbanóanyag alap emulzió az nem robbanóanyag az ADR szerint 5.1 osztályú, azaz oxidáló szer.

A TKR speciális sajátossága az, hogy a mentesítéséhez sem égetés sem robbantás nem szükséges, a csomagolásba öntött vízzel vagy bármilyen más inert folyadékkal megvalósítható. *A robbanóanyag mentesítése a következő módon történhet:*

- A bekevert robbanóanyagot tartalmazó csomagolás zárókupakját le kell tekerni.
- A csomagolásba térfogattól függően annyi vizet kell tölteni, hogy az a teljes csomagolást megtöltse.
- A zárókupak visszatekerése után azt össze kell rázni.

Összerázás után a robbanóanyagból irreverzibilis módon inert, immáron robbantásra nem alkalmas keverék keletkezik, amely még mindig a csomagoláson belül tartózkodik ez által annak a további kezelésre könnyen megvalósítható. Erre alkalmazható égetéses módszer is, ebben az esetben nem kell tartani attól hogy a robbanóanyag égése akár deflagrációba, esetleg robbanásban mehet át, mivel az illó komponens elégeése után a TKR égése leáll, az többé nem rendelkezik robbanó tulajdonsággal.

#### **3.1.4. Összpontosított kumulatív töltet készítése hagyományos robbanóanyag töltetekkel**

A kisméretű kumulatív összpontosított töltetek gyártási sajátosságainak jobb megismerése céljából, összehasonlító kísérleteket végeztem plasztikus robbanóanyagból, illetve préssel és öntéssel készített töltetekkel. A kísérlet részletes eredményeit a Műszak Katonai Közlöny 2018. évi 3. számában tettem közzé. [95 pp. 280-298] A következőkben csak a legfontosabb tapasztalatokat mutatom be.

A kísérletekhez kétféle ipari gyártású kumulatív összpontosított töltetet választottam „*etalonként*”. Mind a kettő esetben a választás oka a bennük található robbanóanyag uniformitása, valamint az a fontos tulajdonságuk volt, hogy kis átmérőben is stabil, nagy sebességű detonációra képesek. Az egyik egy 25 g plasztikus robbanóanyagot (SEMTEX 1A) tartalmazó robbanótest volt. A másik esetben egy 40 mm-es páncélatütő lövedékben használt préstestet használtam, amely 14 g hexogént (RDX) tartalmazott. A töltetknél azonos eltartási távolságot biztosító távtartót használtam. A robbanóanyagot és a távtartót minden esetben egy alumínium csőbe helyeztem el. Így csak a robbanóanyag fajtájában és annak tömegében adódtak különbségek a robbantások során. Céltárgyakként melegen hengerelt 50-30-20-10 mm vastagságú rúdacél korongokat alkalmaztam. A befogásukhoz egy speciális cél-szerkezetet készítettem, amely egymáshoz szorította a korongokat, így azok nem repültek szét a robbanás során, és biztosították az azonos átütési körülményeket.

A vizsgálathoz felhasznált plasztikus robbanóanyag a SEMTEX 1A volt, mely 76% nitropentát és ~4% hexogént tartalmaz. A megmunkálása, formázása szobahőmérsékleten könnyű, ezért – a brizanciája mellett – ideális választás üreges töltetek készítésére. A préselt tölteteket hexogén robbanóanyagból készítettem. Gyártás tekintetében a három robbanótest közül kétségtelenül a 60:40 arányú RDX/TNT keverék robbanóanyagból öntött töltet elkészítése volt a legnagyobb kihívás. Egyrészt, egy nagy produktivitású gyártási rendszert kellett leképezni néhány grammos töltet mennyiségekre, másrésztől

pedig a feladat megvalósításának komplexitása sok tervezést igényelt. Bebizonyosodott az is, hogy az íróasztal mögött született elképzelések, a legnagyobb odafigyelés és részletesség ellenére is képesek keresztülhúzni a számításainkat, másrésről pedig a legtöbb fejlesztés ilyen jellegű kísérletek és technikai alkalmazások tökéletesítésével valósult meg, így nem szabad egyik termékre sem a kísérletek során nem megfelelőséget kimondani, hiszem minden egyes darab gyártása során lehet tanulni. Tekintve, hogy nemhogy tized, de akár csak grammra is azonos öntött kumulatív testet gyártani szinte lehetetlen, így inkább arra törekedtem, hogy különböző öntött töltet tömegekkel milyen összefüggés alakul ki a céltárgyon keletkezett lyuk tekintetében. A kísérleti robbantások eredményeit az alábbi táblázat tartalmazza.

| ROBBANTÁSOK MÉRT EREDMÉNYEINEK ÖSSZEFOGLALÓ TÁBLÁZATA |                  |            |           |                  |                 |                         |                          |         |                                    |
|---|------------------|------------|-----------|------------------|-----------------|-------------------------|--------------------------|---------|------------------------------------|
|   | Robbanó anyag    | Típus      | Tömeg (g) | Lyuk átmérő (mm) | Lyuk hossz (mm) | Szorozatos teljesítmény | Tömegegység teljesítmény | Rangsor | Megjegyzés                         |
| 1   | Semtex 1A        | plasztikus | 25        | 9                | 46              | 414                     | 16,56                    | 5       | -                                  |
| 2   | Semtex 1A        | plasztikus | 25        | 7                | 51,6            | 361,2                   | 14,45                    | 6       | árnyékolóval                       |
| 3   | Semtex PLHX 30   | plasztikus | 25        | 9,1              | 51,5            | 468,65                  | 18,75                    | 3       | 8% Al tartalom                     |
| 4   | Hexogén préstest | Préselt    | 14,3      | 7,3              | 51              | 372,3                   | 26,03                    | 1       | -                                  |
| 5   | Comp-B_#3        | öntött     | 25,1      | 9,4              | 32,3            | 303,62                  | 12,1                     | 8       | #3sz test                          |
| 6   | Comp-B_#2        | öntött     | 30,86     | 10               | 61,5            | 615                     | 19,93                    | 2       | #2sz test                          |
| 7   | Comp-B_#6        | öntött     | 46,1      | 11,26            | 72              | 810,72                  | 17,59                    | 4       | #6sz test                          |
| 8   | Comp-B_#1        | öntött     | 22,6      | 8,5              | 24              | 204                     | 9,03                     | 9       | #1sz test<br>'19,6+3g<br>Semtex 1A |
| 9   | Comp-B_#4        | öntött     | 22,6      | 9,2              | 31              | 285,2                   | 12,62                    | 7       | #4sz test                          |
| 10  | Comp-B_#5        | öntött     | 23,4      | 0                | 0               | 0                       | 0                        | 0       | #5sz test,<br>deflagrált           |

14. táblázat: Kísérleti kumulatív töltet robbantások eredményei

A kísérletek eredményeiből az alábbi következtetéseket vontam le a további munkámra vonatkozóan:

- A préselt töltetnek kimagasló a teljesítménye.



A töltet homogén, nagy fajlagos sűrűségű hexogénből készült, szemben bármelyik másik termékkel, amelyiknél sehol sem volt ilyen magas az RDX tartalom. A béléstest formája a prészerszám kiképzése folytán „trombitaszerű” lett, ami elősegítette az egyenletes kumulációt.

- *Az árnyékoló betét pontos tervezés nélkül nem hoz magasabb teljesítményt.*

Ha az árnyékoló betét pozíciója a béléstest kúpjához képest nincs pontosan hangolva, akkor a kerületéről leváló hullámfront vagy a csúcs előtt találkozik, és ekkor a kúpot inkább összenyomja mintsem „hengerelje”, vagy ha túl későn, akkor a kúp palástját hamarabb összenyomja, mint ahogy odaérne a jet kialakulása. A betét hangolás és formai pontos alakítás nélkül használata nem eredményez nagyobb teljesítményt, mivel hasznos térfogatot vesz el a robbanóanyagból.

- *Az alumínium tartalmú plasztikus robbanóanyagból készült kumulatív termék súly- és teljesítményaránya elég jónak mondható.*

Egyértelmű pozitív hatással van a teljesítményre a 8% alumínium tartalom. Érdekes kutatás lehetne a teljesítményének növelése béléstesttel, illetve más, a kúphoz köthető technológiai elemekkel.

- *Amennyiben célfeladatra kell gyártani üreges töltetet, akkor plasztikus robbanóanyag az ideális választás.*

Tűzserészet, katasztrófavédelmi, illetve civil és katonai műszaki feladatokra – akár hosszú élettartalmú gyártmány szinten – kifejezetten előnyös a plasztikus robbanóanyag.

- *Az öntéses eljárással készült termékek kétségtelenül nagy energiasűrűségű termékek a teljesítmény vonatkozásában, de nagyon komoly odafigyelést, szakmai felkészültséget igényel a gyártásuk.*

Az öntött robbanóanyagok bizonyítottan kimagasló teljesítményre képesek, mivel az alapanyagaik pozitív tulajdonságait a megfelelő hangolással és összetétellel optimalizálva, kimagasló teljesítményű termékeket lehet készíteni belőlük.

- *A tömeg növekedése nem feltétlenül arányos a teljesítménnyel.*

A nagy tömegű öntött test esetén látszódik, hogy habár majdnem duplájára nőtt a robbanóanyag mennyisége, emellett jelentősen nőtt az átütés is, azonban ez közel sem arányosan történik. A titok sokkal inkább a hangolásban és a technológiai elemekben rejlik. A konstrukció és gyártási minőség fontosabb, mint a tömeg.

- *Az árnyékoló betét a lyukátmérő rovására növeli a lyukhosszt.*

A detonáció az árnyékoló hatása miatt homogénebb, hosszabb sugarat hoz létre, viszont a jet átmérőjét csökkenti.

- *Nagyobb tömeg, nagyobb bemeneti nyílás méretet produkál, adott D mellett.*

Nagyobb a jet robbanási gáz sűrűsége ezért nagyobb méretű lyuk keletkezik.

A fenti megállapítások alapján látszódik, hogy nagy szabad fejlesztési tér létezik a kisméretű robbanótestek gyártásában és kutatásában. Gyakorlati vizsgálatukra az azonos robbanási körülmények között történő kísérletek nagyon jól mérhető eredményeket hoznak, amelyek alkalmasak a különböző brizáns robbanóanyagok adott feladatra történő alkalmazhatóságának megfigyelésére.

### **3.1.5. Kumulatív összpontosított töltet készítése TKR robbanóanyag töltettel**

A TKR-ből kétféle kumulatív robbanóanyag töltetet készítettem kísérlet képen. Az egyik egy összpontosított töltet, amely átütését lágyvas céltárgyon vizsgáltam. A másik egy lineáris vágótöltet. A kisméretű összpontosított kumulatív töltet alapötlete a Diószegi Imre<sup>85</sup> által fejlesztett, a Magyar Honvédségben 2000-ben rendszeresített KKT-A töltetből ered. Konceptiója szerint kis robbanóanyag tömegű precízen összeállított robbanóeszköz, amely speciális feladatok ellátására alkalmas: tüzserész szakfeladatok esetén töltet lyukasztás, műszaki feladatkörben például fagyott talaj lazítása valamint kisebb rombolási célfeladatok. [96 p. 92]. Ehhez viszont egy módosított kumulatív béléstest állt csak rendelkezésemre, amelyet az ARGES 40x46 gránátban is használnak. A kísérlethez a távtartót a korábbiakban már ismertetett 1D körüli értékre terveztem, de a kedvezőbb kumuláció és a trombita-formájú béléstest jobb hatékonysága miatt azt 30 mm-re növeltem. Az eltartást biztosító adapter belső részének kiképzése segíti a gázsugár központosítását, a méretpontos, könnyű töltetház pedig csökkenti a repeszhatást nagyobb távolságokra, mivel az alumínium kis darabokra szakad szét, és e repeszdarabok méretüknél fogva nem repülnek messzire és az átütőképességük is csekély. Az 50 g robbanóanyag tömeg a korábbi kísérleteim alapján alakult ki. 50 gramm fölött már nem növekszik az átütőképesség, hanem a behatolás által képzett üreg térfogata növekszik, de ez jelen esetben nemkívánatos tényező lett volna. Emellett a kis robbanóanyag töltethez társuló jobb átütőképesség a felhasználás szempontjából is ígéretesebb. Az összpontosított töltet szerkezeti felépítése az alábbi képen látható.

---

<sup>85</sup> A Haditechnikai Intézet műszaki harcanyag fejlesztő mérnöke, robbantástechnikai szakmérnök.

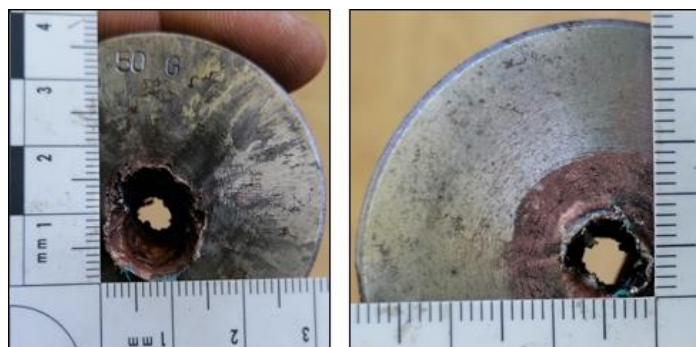


20. ábra: A kumulatív töltet részei, és az összeállított töltet a céltárgyon<sup>86</sup>

A jelölések és a töltet egyéb adatai:

- Vörösréz béléstest: 10,6 g súlyú 26 mm átmérőjű és 23 mm magasságú vörösréz kúp.
- Eltartási távolságot biztosító adapter, amely a céltárgytól 30 mm eltartást eredményez.
- Gyutacs tartó, központosító adapter, amely a szimmetrikus iniciálást segíti elő.
- Robbanóanyag: 50 g TKR.
- Az alumínium töltetház egy 32x2 mm méretű AlMgSi0,5 jelű csőből készült.
- Céltárgy: lágyvas korong.

Az alábbi képen az átlukasztott 30 mm vastag lágyvas korong látható. Annak ellenére, hogy a TKR brizanciájában nem említhető egy lapon a KKT-A-ban használt hexotollal, átütőképességük mégis közel azonos.

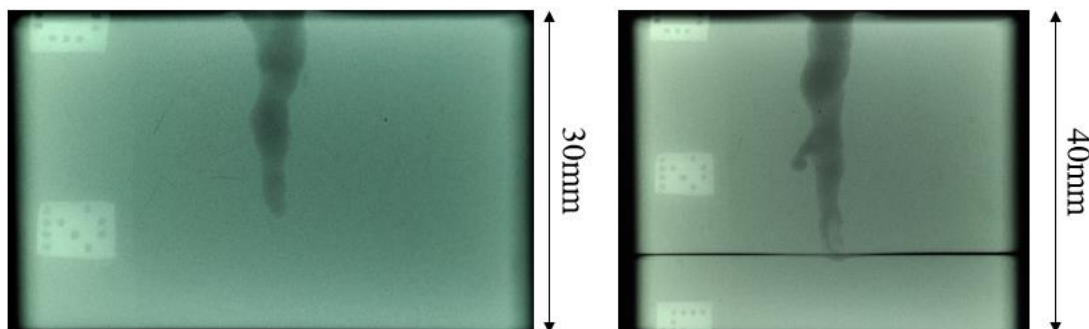


21. ábra: A töltet által átlukasztott 30 mm vastag acélkorong bemeneti és kimeneti oldala<sup>87</sup>

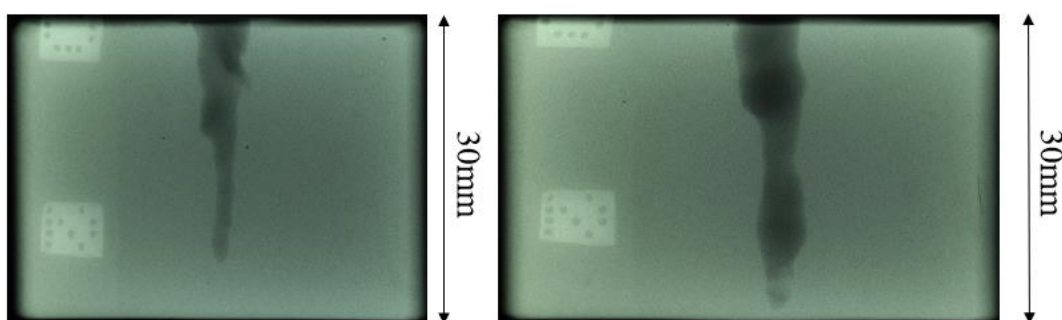
<sup>86</sup> TKR-el töltött kisméretű kumulatív töltet vizsgálatakor, a szerző által készített kép.

<sup>87</sup> TKR-el töltött kisméretű kumulatív töltet vizsgálatakor, a szerző által készített kép.

Korábbi vizsgálataim során [97 pp. 188-198] vizsgáltam már bináris robbanóanyag behatolását különböző lágyvas céltárgyakba. Azok röntgenképei az alábbiakban láthatóak:



22. ábra: 25 g (b) 50 g (j) bináris robbanóanyag behatolásának röntgenképe<sup>88</sup>



23. ábra: 25 g (b) 50 g (j) alumíniummal erősített bináris robbanóanyag behatolásának röntgenképe<sup>89</sup>

Az alumíniummal erősített (23. ábra) bináris robbanóanyag röntgenképén jól látszódik a Kramarczyk et al. [88 pp. 99-113] cikkében mérésekkel igazolt megfigyelés, mely szerint az alumínium megfelelő adagolása a Trauzl-tömbökben<sup>90</sup> megnövekedett térfogatot eredményezett. Ahogy a képen látszik a behatolási mélység nem változott, azonban a behatolás térfogata megnövekedett.

A TKR robbanóanyaggal töltött kumulatív töltetek valós, gyakorlati életben történő alkalmazásához természetesen az általam bemutatottnál pontosabb méretezésre lesz szükség. Ebben segíthet például a Bugyás József által kidolgozott, végeselem módszerrel történő kumulatív hatás szimuláció, melynek során intelligens matematikai szoftverekkel és a végeselem-módszerrel modellezhető adott kumulatív töltet hatásmechanizmusa, és a kapott eredmények összevethetők a gyakorlati eredményekkel. [98] A jelen kísérletek célja

<sup>88</sup> A kép a Minell Kft-ben készült dr. Gémes György András segítségével.

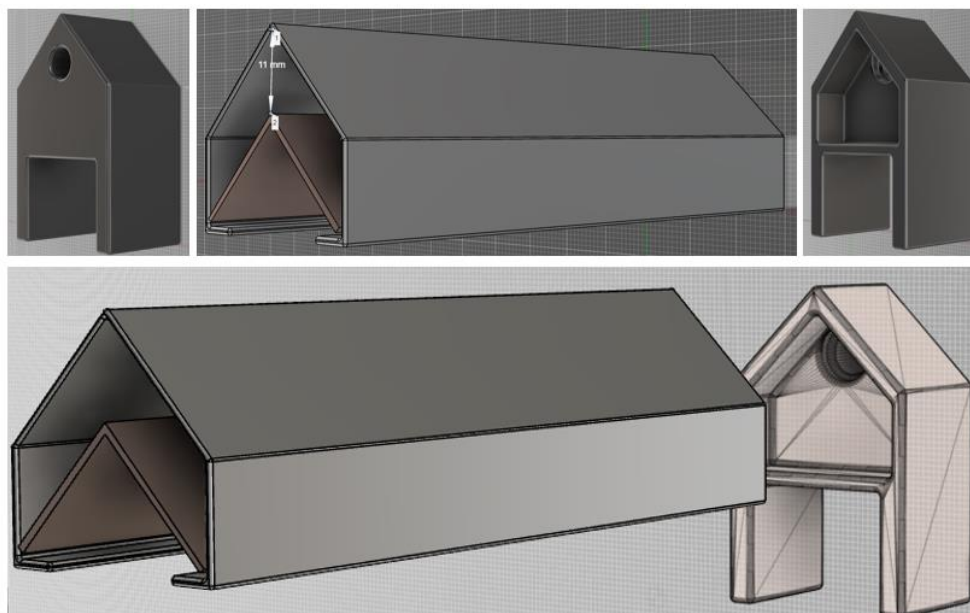
<sup>89</sup> A kép a Minell Kft-ben készült dr. Gémes György András segítségével.

<sup>90</sup> A Trauzl Izidor által kifejlesztett, a robbanóanyagok munkavégző képességének meghatározására kifejlesztett módszer. Egy 200x200 mm-es ólom hengerben készített 125 mm mély, 25 mm átmérőjű furatban, 10 g robbanóanyagot robbantanak, melynek munkavégző képességét a robbanás által az ólomhengerben okozott öblösődéssel mérik, ml-ben.

csak a TKR, helyszínen tölthető kumulatív töltetek készítésre történő alkalmazhatóságának bizonyítása volt

### 3.1.6. Kumulatív vágótöltet készítése TKR robbanóanyaggal

A feladathoz általam tervezett lineáris vágótöltet sematikus felépítése az alábbi ábrán látható:



24. ábra: Lineáris vágótöltet ház szerkezeti felépítése<sup>91</sup>

Az ábra bal és jobb oldalán a fémszerkezet záró idomai láthatóak a gyutacs központosítására szolgáló lyukkal. A töltet szerkezetét 1 mm vastag alumínium lemez képezi 90° fokos szöggel. A béléstest 1 mm vastag vörösréz lemezből készült szintén 90° szöggel. Az alsó ábrán a fém központi szerkezet látható beillesztés előtt. A záró idom lábai 30 mm eltartást tesznek lehetővé, amely a vágótöltet keresztmetszetével egyező, azaz 1D érték. A vágótöltet egy angol ipari vágóidom alapján készült. Az eredeti terméket öntött robbanóanyaggal töltik és szükség szerinti méretre vágják. A felhasznált robbanóanyag: 100 g TKR, a céltárgy: IPE 400 acélgerenda

A vágótöltet ház töltését rövid idő alatt el lehet végezni, majd a töltés után a függőleges helyzetbe állított töltésház ütögetésével minden légbuborék eltávolítható. A zárókupak rögzítése után a vágótöltet azonnal használatra kész. Az alábbi képen is jól megfigyelhető, hogy a korábban említett úgynevezett 10% felfutási távolság a TKR esetén nem látható, a kumulatív bélés teljes hosszban behatolt a céltárgyba. A behatolás mélysége a homogén 35 mm vastag acéllapban 13-15 mm között volt, amely kétségtelenül nem éri el a PETN vagy RDX tartalmú vágótöltetek teljesítményét, azonban létezik olyan szituáció, amikor nem

<sup>91</sup> Szerkesztette a szerző

szükséges a kimagasló teljesítmény, hanem célzottan és gyorsan kell egy fémszerkezet elvágni. Mindemellett lehetőség van méretezéssel növelni a TKR vágótöltet teljesítményét. Korábbi méréseim [85 pp. 83-86] is bizonyították, hogy az üreges töltetek jet sebességei között jelentős különbségek adódnak, azonban mint a vizsgálatokból is kiderült, az nem okozta a jet szétesését vagy a TKR alkalmatlanságát vágó-lyukasztó töltetek esetén.



25. ábra: A lineáris vágótöltet elhelyezése és behatolása IPE<sup>92</sup> 400 acélgerendába<sup>93</sup>

### 3.2. A TKR robbantásos fémmegmunkáláshoz való felhasználhatóságának vizsgálata

Robbanóanyagokat nem csak fémszerkezetek roncsolására, hanem különböző fémstruktúrák létrehozására is használhatnak. A plattírozás (26. ábra), azaz robbantásos fémhegesztés különösen olyan fémek egyesítésének esetében bizonyul megoldásnak, amelyek konvencionális hegesztési eljárásokkal nem egyesíthetők, vagy nem megfelelően egyesíthetők [99] [100 p. 188]. Ez a speciális helyzet előállhat a hegesztendő termékek méretéhez-alakjához köthetően, vagy az anyag összeférhetetlenségének köszönhetően. Plattírozással olyan anyagok is egyesíthetők, mint például: titán – rozsdamentes acél, alumínium - rozsdamentes acél, titán – vörösréz, alumínium-vörösréz, stb. A robbantással hegesztett két anyagnak az eltérő tulajdonságai miatt az ilyen összetett fémszerkezetek (bimetálok, de a technológia akár több, eltérő fémlémez összerobbantását is lehetővé teszi) nagy fontossággal bírnak különböző reaktorteknikai kutatásokban, a különböző vegyipari gyártási termékeknél vagy az űrkutatásban. [101]

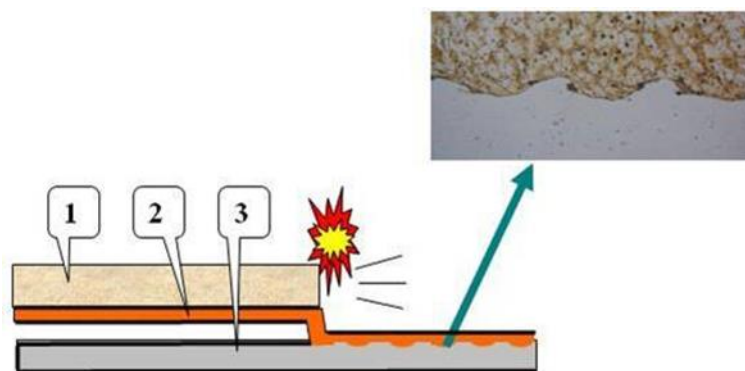
Magyarországon ezen az egyedüli területen nem állt le a robbantástechnika fejlődése: fejlesztések és kutatások is nagy számban kerültek publikálásra. [102] [103 pp 431–446] [104 pp. 128-139] [105 pp. 75-88] [105 pp. 447-459] [106] Az Óbudai Egyetem (ÓE) és a

<sup>92</sup> IPE gerenda: úgynevezett párhuzamos övű I-tartó.

<sup>93</sup> Az IPE gerenda robbantásos vizsgálatokor, a szerző által készített kép.



Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem (majd jogutódként a Nemzeti Közszerológati Egyetem) által elnyert TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások című kétéves projekt keretében (2012–2013), a Lukács László által szervezett és vezetett Nagy energia sebességű alakítások – Robbantásos fémmegmunkálás elnevezésű kiemelt kutatási területen (KKT) munkájában 5 minősített és 5 nem minősített hazai oktató, kutató és 4 egyéb szakértő (köztük 3 BSc hallgató) vett részt. A kutatást 6 külföldi szaktekintély (német, cseh, amerikai és görög) támogatta. A kutatócsoport tagjai 14 hazai és külföldi konferencián, 35 előadást tartottak, 33 folyóirat cikket írtak<sup>94</sup>, öt tanulmányt, továbbá 3 TDK dolgozatot és 3 BSc. szakdolgozatot készítettek. Sajnálatos módon, a Nemzeti Közszerológati Egyetemen folyó oktatás profil váltása következtében (megszűnt a mérnök képzés), ennek a sikeresen indult kutatásnak nem lett folytatása. [44 pp. 223-232; 233-234]



26. ábra: A robbantásos plattírozás elvi vázlat<sup>95</sup>

1 – robbanóanyag; 2 – repülőlemez; 3 – alaplemez

### 3.2.1. Robbantásos fémplattírozás TKR-rel

A fémek plattírozásához felhasználható robbanóanyagokkal szemben támasztott alapvető követelmények függetlenül attól, hogy több cm vastag fémlemezekhez vagy kisméretű bimetalokhoz használják a következők:

- Egyenletes sűrűség.
- Kezelésbiztonság.
- Gyutacsérzékeny.
- Alacsony kritikus átmérő.
- Stabil detonáció.
- Konstans detonációsebesség.

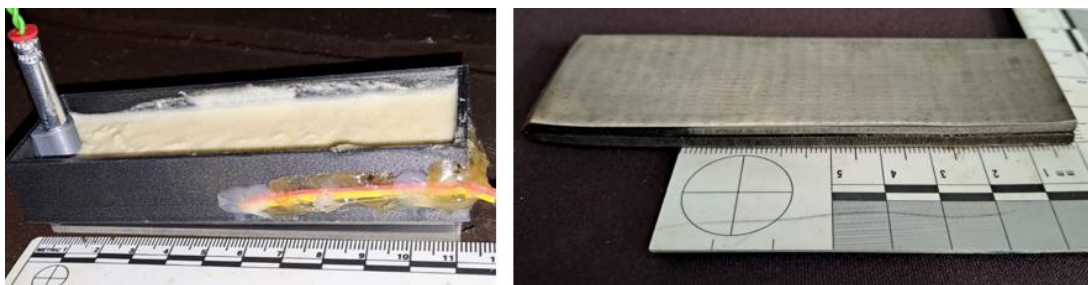
<sup>94</sup> Magyar, angol és szlovák nyelven.

<sup>95</sup> Forrás: S-Metalltech Kft.

A TKR alacsony kritikus átmérője miatt alkalmas fém-plattírozási feladatokhoz is, amelyeket a következő vizsgálatokkal ellenőriztem, bizonyítottam:

- 3 mm vastag KO33 acél robbantásos hegesztése 3 mm KO33 acéllemezhez, 3 mm eltartási távolsággal, párhuzamos repülő lemez elrendezéssel, 50 g robbanóanyaggal. (28. ábra)
- 5 mm vastag vörösréz lemez robbantásos hegesztése 3 mm KO33 acéllemezhez, 3 mm eltartási távolsággal, párhuzamos repülő lemez elrendezéssel, 50 g robbanóanyaggal. (29. ábra)
- 3 mm vastag grade 2 titán lemez robbantásos hegesztése 3 mm KO33 acéllemezhez, 5° szög alatti repülő lemez beállítással, alumínium pufferlemezzel. (27. ábra)

A sikeres fémhegesztések az alábbi képeken láthatóak.



27. ábra: 3 mm vastag, grade 2<sup>96</sup> titán lemez robbantásos hegesztése 3 mm KO33 acélhez<sup>97</sup>



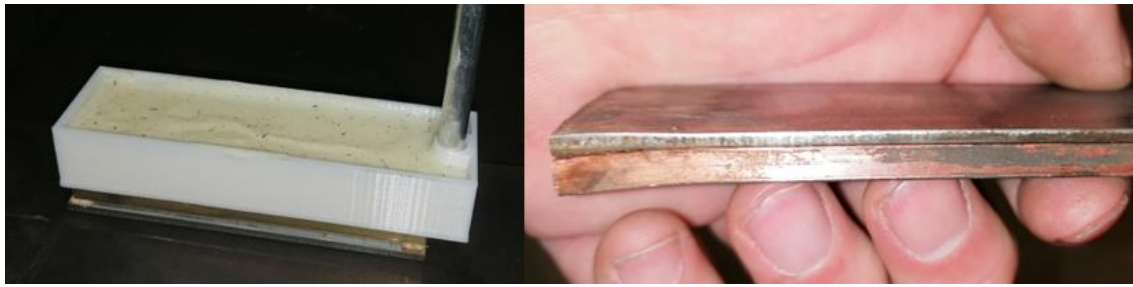
28. ábra: 3 mm vastag KO33 lemez robbantásos hegesztése 3 mm vastag KO33 lemezhez<sup>98</sup>

<sup>96</sup> Wnr.3.7035/Gr2/R50400 jelölésű, ötvöztelen titán.

<sup>97</sup> Robbantásos hegesztéskor, a szerző által készített kép.

<sup>98</sup> Robbantásos hegesztéskor, a szerző által készített kép.





29. ábra: 5 mm vastag vörösréz lemez robbantásos hegesztése 3 mm vastagságú KO33 lemezhez<sup>99</sup>

Az összehegesztett fémek érintkezési felületéről keresztmetszeti és hosszmetzeti mikroszkópos fotókat készültek, amelyek az alábbi ábrán láthatóak:



30. ábra: 200 µm (b); és 500 µm (j) felbontású felvétel a vörösréz és a KO33 acél között kialakult kohéziós kötésről<sup>100</sup>

### 3.2.2. Tengelyszimmetrikus cső plattírozás kísérleti vizsgálata TKR-el.

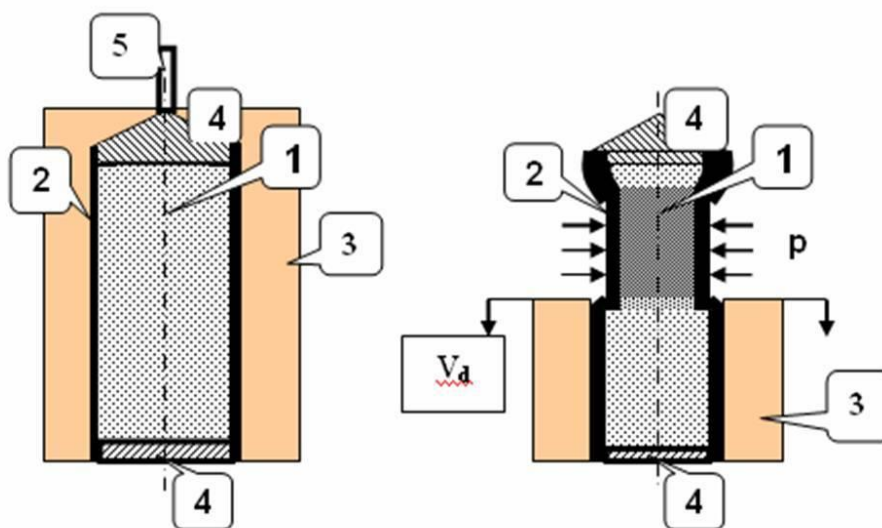
A TKR képességének vizsgálatára az értekezésemben több nem szabványos vizsgálatot terveztem és végeztem el. Ezek célja annak a területnek az elhatárolása és feltérképezése, ahol a TKR biztosan, speciális módon olyan egyedi feladatot tud elvégezni, amelyet másik konvencionális robbanóanyag nem, vagy arra csak körülményesen lenne alkalmazható.

Ebben az esetben egy speciális töltési tér, egyenletes térfogati sűrűségű kitöltése volt a cél, melynek során a TKR stabil koncentrikus detonáció fenntartó képességét vizsgáltam. Az alapötletet a fém- és kerámiaporok robbantásos tömörítésének eljárása (31. ábra) adta, melynek során reaktortechnikai berendezések, autoklávok, és egyéb vegyipari gépek

<sup>99</sup> Robbantásos hegesztéskor, a szerző által készített kép.

<sup>100</sup> A képeket az Óbudai Egyetem Anyag- és Gyártástudományi Intézetben dr. habil Kovács Tünde egyetemi docens készítette.

speciális kötőelemeit, csatlakozóit állítják elő. Ilyen fokozott vegyszerállóságú anyagok miatt például a cirkónium is elérhetővé válik a plattírozás miatt. [108]. Az eljárás lényege, hogy egy plasztikusan alakítható fémcsőbe (tartály) helyezik a kívánt fajtájú kerámia vagy fémport. A csövet kívülről por alakú robbanóanyaggal veszik körbe oly módon, hogy a kívánt robbanóanyag vastagságnak megfelelő belső átmérőjű csövet helyeznek a munkadarab köré (ez lehet például prespán vagy egyéb műanyag, hiszen a folyamat szempontjából nincs jelentősége, viszont nem célszerű, hogy a robbanáskor komolyabb repeszhatás alakuljon ki miatta). Ezt a robbanóanyagot egy időben iniciálva a teljes hengerpalást területén (pl. egy körbetekert robbanózsinórral), a kialakuló „húzógyűrű” beszűkíti a tartályt, összepréselve (tömörítve) a benne lévő port. Az így kialakuló új anyag szilárdságára jellemző, hogy esztergálható, húzható. [107 p. 199]



31. ábra: A kerámia-por robbantásos tömörítésének elvi vázlata<sup>101</sup>  
 1 – tömörítendő por; 2 – fémcső (tartály); 3 – robbanóanyag; 4 – végzáró; 5 – gyutacs;  $V_d$  – a robbantással kialakított „húzógyűrű” haladási sebessége

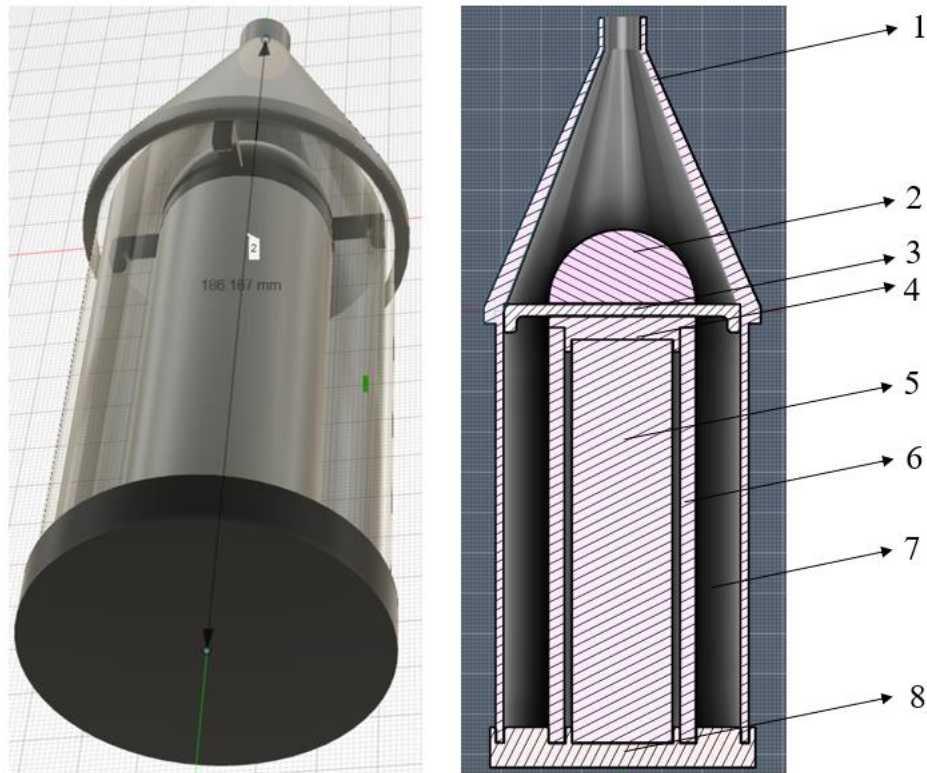
A kísérletet a fenti eljárást követve tervezetem meg, de nem fémcsőbe helyezett kerámia port robbantottam, hanem egy alap fémrúdra egy külső – más fémből készült – csövet próbáltam plattírozni.

A konkrét vizsgálat során egy 100 mm hosszú 36x3,5 mm méretű KO 36 (Wnr.1.4541) acélcövet, egy 25 mm átmérőjű vörösréz rúdhoz robbantottam, tengelyszimmetrikus robbantási eljárással. A választás azért esett a rézre, mivel a 3.2.1. pontban ismertetett plattírozás esetében a maratott felületről készült mikroszkópos felvételek jól értékelhetően

<sup>101</sup> Forrás: S-Metalltech Kft.

mutatták a kohéziós kötés kialakulását, így ahhoz, mint referenciaanyaghoz lehet így hasonlítani.

A teljes szerelvény elrendezése, és keresztmetszeti képe az alábbi ábrán látható:



32. ábra: Tengelyszimmetrikus cső plattírozás felépítése<sup>102</sup>

1-központosító-záróelem, 2-árnyékoló betét, 3-központoító, 4-pozicionáló végzáró, 5-réz rúd, 6-KO36 cső, 7-TKR

Az összeállítás lehetővé tette, hogy FDM technológiával<sup>103</sup> gyártott elemekből épüljön fel a vizsgálati darab. Mind a végelemek, mind pedig az ábrán is jelölt részek saját fejlesztés termékei. A szerelvény felépítésének ökol szabálya szerint egyenletes robbanóanyag réteget szerettem volna képezni a vas-réz cső körül, hogy minél jobban reprezentálja a stabil detonáció fenntartható képességét. A TKR vastagsága a cső körül 11 mm volt, a teljes betöltött robbanóanyag mennyiség 313 g.

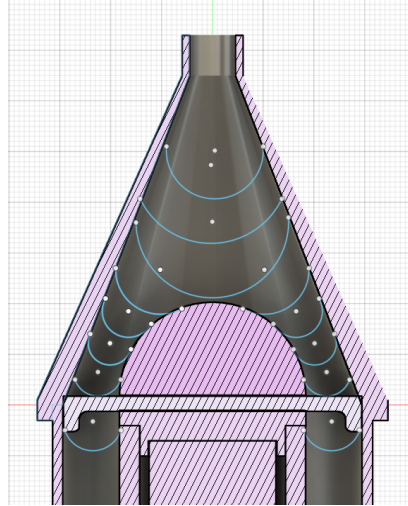
A cső iniciálás felőli végzáró-elemén árnyékoló betétet helyeztem el, amelynek a célja a detonációs hullám tórusz<sup>104</sup> formájú jellegének elősegítése, amely a végtermék felületi minőségének és keresztmetszeti homogenitásának, valamint nem utolsósorban a kohéziós kötés megjelenésének szempontjából kritikus jelentőséggel bír. A detonációs hullámfront

<sup>102</sup> A felépítés, méretezés, rajz és szerkesztés a szerző munkája.

<sup>103</sup> Fused Deposition Modeling, szálhúzásos 3D nyomtatás.

<sup>104</sup> Forgástezt, ilyen alakú például a kerékpár gumibelsője.

haladása, formája és a tórusz jelleg kialakulása a 33. ábrán látható. Az ábrán kék színnel jelölt hullámfrontokat értelmezve válik egyértelművé az árnyékolóbetét jelentősége, mivel használata védi a cső és a réz béléstest épségét, és olyan kialakítást eredményez, amellyel ezek teljesen szabályosan érkezik a front a csőszájhoz.



33. ábra: A tórusz szerű hullámfront kialakulása<sup>105</sup>

A robbantás által formált végtermék a 34. ábrán látható. A bal oldalon a végtermék alsó része, a benne keletkezett üreggel, amely a csőkompresszió miatti tengelyirányú nyúlás miatt következett be. A középső képen a teljes, 104 mm hosszú termék, a jobb oldali képen pedig a teljesen szimmetrikus árnyékoló betét felőli csőszáj szerepel.



34. ábra: KO36-Vörösréz tengelyszimmetrikus plattírozott termék<sup>106</sup>

A szimmetrikus szerkezet annak a bizonyítéka, hogy a 11 mm vastag TKR-ben egyenletesen és stabil detonációsebességgel haladt végig a robbanás, és a KO36 felülete

<sup>105</sup> A felépítés, méretezés, rajz és szerkesztés a szerző munkája.

<sup>106</sup> Robbantásos vizsgálatkor, a szerző által készített kép.



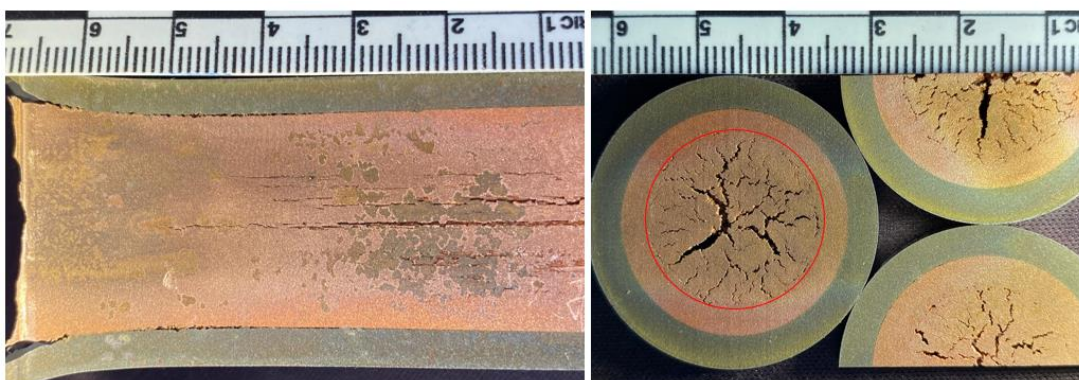
szimmetrikusan nyúlt meg a körkörös (tórusz jellegű) hullámfront hatására. Amennyiben instabil detonáció esete állt volna fenn, akkor a keresztmetszetben egyszerűen mérhető aszimmetriák alakultak volna ki. A mérések eredményeit az alábbiakban láthatjuk.

| Plattírozott cső, átmérő értékei 14 ponton mérve |      |      |      |       |      |              |
|--|------|------|------|-------|------|--------------|
| 34,5   | 33,9 | 33,7 | 33,7 | 33,53 | 33,4 | 33,65        |
| 33,48  | 33,6 | 33,9 | 33,8 | 33,75 | 33,7 | 34           |
| <b>Szórás</b>                                    |      |      |      |       |      | <b>0,19</b>  |
| <b>Átlag</b>                                     |      |      |      |       |      | <b>33,76</b> |

15. táblázat: Plattírozott cső átmérőjének mérése 14 ponton, az aszimmetriák ellenőrzésére

A táblázatban foglalt értékek alapján jól látható, hogy a 36 mm-es cső 2,24 mm-el csökkent átmérőben, hosszban pedig nagyságrendileg 4 mm-el lett hosszabb.

A szerkezet robbantás által okozott szerkezetváltozását jól szemlélteti a 49. ábra. A kép bal oldalán a huzalszikraforgácsolással hosszmetsetben vágott szerkezet látható. A jobb oldali képeken pedig a keresztmetszeti vágás látható. A piros kör egy határfelületet jelöl, amin belül látszódik, az anyag tengely irányú nyúlásának következtében kialakult szerkezetváltozás.



35. ábra: Huzalszikraforgácsolással vágott fémszerkezet<sup>107</sup>

### 3.3. Víznyomás töltet (water impulse charge)

A katonai robbantások egy speciális, pontos tervezést és töltet elhelyezést igénylő robbantási feladata a nyílászáró<sup>108</sup> robbantás. Az erre vonatkozó MŰ-224/18 szakutasítás [96] részletesen tárgyalja az ilyen robbantások előkészítő munkáit és kivitelezését aszerint, hogy milyen leküzdendő céltárgyon keresztül kell a különleges egységet bejuttatni az épületbe. Mindegyik esetében közös vonás, hogy a felhasznált robbanóanyag mennyiségét

<sup>107</sup> A vágásokat a Blauform Kft végezte

<sup>108</sup> Nyílászáró: különböző anyagokból (fa, műanyag, fém) készült ablak és ajtószervezet.

minimalizálni szükséges, mivel a katonák jellemzően pár méterre helyezkednek el a robbantástól. Erre a feladatra a jelölt szakutasításban a STARTLINE 12 típusú, 12 g/m töltőtömegű robbanószinór (RGYZS) került felhasználásra. A kétféle méretben elkészített víznyomás töltet az 36. ábrán látható.



36. ábra: Helyszíni készítésű, 500 és 1000 ml vizet tartalmazó katonai víznyomás töltetek<sup>109</sup>

A víznyomás töltet a víz következő előnyös tulajdonságait használja ki:

- Nagyon jó por és füstmegkötő képesség.
- A víz összenyomhatatlansága miatt a robbanóanyag miatt felgyorsított víztömeg jelentős munkavégző képességgel rendelkezik.
- A víz használható ugyanilyen okok miatt a robbanás erejének irányítására.
- Inert, nem mérgező végtermékek a robbanás után.
- Könnyen elérhető alapanyagok.

A töltet felépítése szendvics szerkezetű, a pontosan kimért robbanóanyagot két oldalról vízzel töltött (infúziós) zacskó fogja közre. A gyutacs és a robbanóanyag a két zacskó között középen helyezkedik el. A robbanás során keletkező detonációs hullámfront nekiperéseli a víztömeget a nyílászáró szerkezetnek, és azon nagy felületen roncsolást végez. Mindeközben az ellentétes oldalon a víz, mint határfelület jelenik meg és a detonációs hullám impulzusideje növekszik, mivel az nekiverődve a víztömegnek nem tud a szabad felületen eloszlani. A víz a detonáció során eloszlik, ködöt képez, amely leköti a port, és füstöt is.

<sup>109</sup> MŰ-224/18.[94] 3-95. ábra.

A kísérlethez az utasítás szerinti legerősebb, 2,66 m robbanózsínór felhasználásával készült töltetet vettem alapul, ami 32 g nettó robbanóanyag tömeget jelent. A RGYZS előnyös tulajdonsága, hogy vékony keresztmetszetű, ezért a felaprított zsinórt a zacskón, nagy felületen lehet elosztatni, és ez előnyösen befolyásolja a víz nagyfelületű ütőmunkáját. A TKR állagából és csomagolásából adódóan inkább koncentrált töltetet képez, főleg ilyen kis mennyiségű robbanóanyag esetén. Az 37. ábrán látható, hogy a 32 g TKR a fehér csomagolásban milyen kisméretű, koncentrált töltetet képez. A töltet elkészítésekor a csomagolás a gyutacs iniciálásának biztosításaként félbe lett hajtva így egyenletesen körbevette azt. Azonban a koncentrált hatást ezzel is növeltem.



37. ábra: A robbantásra előkészített töltet, 2x1000ml vízzel<sup>110</sup>

A céltárgy nem fémszerkezet volt, mivel a koncentrált töltet és eloszlás miatt csökkent teljesítmény volt várható. A céltárgy középső része, egy 20 mm vastag laminált rétegelt lemez volt, amelyet két oldalról 15 mm vastag OSB lemez borított. A zárbetét a középső rétegben volt csavarozással rögzítve. A lemezek forgácslap csavarral rögzültek egymáshoz mind a két oldalról.

Az elkészített szendvics szerkezetű víznyomás töltetet egyszerűen szigetelőszalaggal rögzítettem az imitációra. A gyutacs elhelyezése a központi pozícionálás miatt nem volt kritikus jelentőségű.

---

<sup>110</sup> Saját kép





38. ábra: A nyílászáró imitáció szerkezete és a TKR munkavégző képessége<sup>111</sup>

A fenti 43. ábra alapján jól látszódik, hogy a fa szerkezet nem képviselt jelentős ellenállást a TKR számára, és a korábban feltételezett alacsonyabb teljesítmény feltételezése nem volt megalapozott. Ezek alapján feltételezhető, hogy nagy biztonsággal roncsolta volna az ajtót egy 500-500 ml-t tartalmazó töltet, amelyhez a fenti utasítás alapján 16 g TKR lett volna szükséges.

A vizsgálatról elmondható, hogy ismét bebizonyosodott: a TKR kis átmérőben is biztonsággal iniciálható 8-as erősségű gyutaccsal, a detonáció felfutása stabil, és speciális alkalmazásokra helyszíni keveréssel biztonságosan alkalmazható.

---

<sup>111</sup> Robbantásos vizsgálatkor, a szerző által készített kép.



## ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK

A robbanóanyagok napi életünk elválaszthatatlan részét képezik. A technika fejlődése nem valósulhatna meg ilyen ütemben, ha a nyersanyagok bányászata során nem használnánk fel robbanóanyagokat. Emellett az űrkutatás, a szénhidrogén-bányászat, a szerkezetkutatások, a geofizika és az ipar számtalan területe, de a közlekedés és a szállítás is (utak, vasutak, alagutak stb.) elképzelhetetlen lenne a robbanóanyagok használata nélkül. Ugyanakkor országok, birodalmak felemelkedése vagy bukása függött/függ a használatuktól. Ilyen komplex ok-rendszer miatt a robbanóanyagok fejlesztése, vizsgálata a tudományos élet konstans részét képezi országoktól, kontinensektől függetlenül.

Kutatómunkám összekapcsolódott a robbanóanyagok minősítésével foglalkozó civil munkámmal is, melynek révén rálátásom van azokra az igényekre és követelményekre, amelyekkel vizsgálatok alapján igazoltan piacképes, a gyakorlati életben alkalmazható robbanóanyag terméket lehet kifejleszteni olyan módon, hogy azt az ipari felhasználás mellett a katasztrófa-, a rend- és a honvédelmi szervek, szervezetek vagy a tudományos kutatás is flexibilis módon tudják használni.

Kutatómunkám célja olyan speciális robbanóanyag fejlesztése és annak szabványok szerinti vizsgálata volt, amely alkalmas többféle feladat ellátására akár civil, akár rend-, vagy honvédelmi területen. Kezelésbiztos és elég brizáns legyen ahhoz, hogy beilleszthető legyen napjaink bővülő, de egyben specializálódó termékeket használó felhasználási köreibe.

A disszertáció *első fejezetében* bemutattam a robbanóanyag keverékek múltját, fejlődési útvonulát. A robbanóanyagoknak ez a területe meglehetősen egyedinek tekinthető, ami még nemzetközi szinten is hiányosan kutatott. A több komponensű bináris robbanóanyagok szinte napjainkig ismeretlenek Európában. Kifejlesztésük és használatba vételük az 1970-es években kezdődött el Amerikában, ahol közel 50 évnyi gyakorlati és elméleti tapasztalattal rendelkeznek ebben a témakörben az európai trendhez képest. Megjelenésük az amerikai kontinens méreteiből és a nálunk szinte ismeretlen felhasználási körökből adódott. Európában a sűrűn lakott területek és a relatíve kevés elhagyott, lakatlan terület eddig nem tette szükségessé ilyen robbanóanyagok használatát, illetve egyáltalán nem alakult ki az igény a jelenlétükre. Azonban a modernkori történelmünk gyökeresen megváltozott 2022 február óta. Az orosz-ukrán konfliktus olyan lavinát indított

el gazdasági, kutatás-fejlesztési és piaci értelemben is, amire nem volt egyik európai ország sem stratégiaileg felkészülve. Az EU gazdasága az orosz nyersanyagok elérhetetlenné válása miatt megtorpant, és nagyon sok területen recesszió indult meg. A földgáz és ammónia árának emelkedése a civil területen nem csak a mezőgazdaság, de a robbanóanyag ipar szempontjából is fontos, nélkülözhetetlen ammónium-nitrát (AN) gyártását gyökeresen változtatta meg. Az ammónium-nitrát ára a 300 euró körüli határról 1400 euró körül tetőzött tonnánként. Emellett az általános gyártói-felhasználói költségek, ezen belül a szállítás, a gépi munkaóra és az energia szintén jelentősen megrágultak. Ezt a piac és a bányászat nagyon nehezen tudta lekövetni és elkezdődött egy olyan trend, ahol az AN költséghatékonyabb felhasználása volt a cél, illetve az az évtizedek óta megingathatatlanak tűnt irány, mely szerint az AN-ot nem lehet kiváltani, megdőlt. Több cég kezdte el a teljesen nitrátmentes robbanóanyagok kutatását, azonban 1 év alatt nem lehet egy teljesen új technológiát vagy megközelítést piacképes terméké tenni, mivel a jogszabályi környezet szűk lehetőségeket biztosít egy teljesen új, a korábbiaktól gyökeresen eltérő robbanóanyag bevezetéséhez. A másik irány, amely gyorsabban tudja lekezelni ezt a problémát, a meglévő alapanyagok célzott, speciális felhasználása és a felhasználásnak az optimalizálása.

A válság jelentős hatással volt a katonai brizáns robbanóanyagok gyártására is. Elérhetőségük jelentősen megváltozott és itt is megindult az alternatívák utáni kutatás. Azonban a jelentős vegyipari kutató központok nem a régebbi anyagok eredményeit porolták le, hanem teljesen új vegyi anyagokat szintetizálnak. Éppen emiatt ez egy hosszú, költséges folyamat.

A fejezetben külön kitértem az ipari robbantástechnikában egyre elterjedtebben alkalmazott, a robbantások helyszínén robbanóanyag keverő-töltő gépkocsikban (MEMU) nagy mennyiségben előállított keverék robbanóanyagokra, és a talán kevésbé ismert, viszont a kutatásom fő tárgyát képező bináris robbanóanyag keverékekre. Ez utóbbiakkal európai szinten nem nagyon találkozhatunk, egyedül Amerikában érhetők el ebben a témában az 1970-es évekig visszamenően szakirodalmak.

A kutatásom további része a bináris robbanóanyagok gyakorlati felhasználási lehetőségei köré fókuszálódott, hogy kiderüljön, milyen lehetőségeket nyújtanak a konvencionális robbanóanyagokkal szemben, illetve milyen körülmények limitálják a felhasználásukat. Megvizsgáltam a bináris robbanóanyagok hazai katonai és rendvédelmi alkalmazásának lehetőségeit és megállapítottam, hogy például a tűzszerész feladatok végzése során több előnye is lehet egy ilyen robbanóanyagoknak. Mivel a Magyar Honvédség tűzszerészei az

ország minden részében végeznek hatástalanítást, egy olyan biztonságosan szállítható bináris robbanóanyag bevezetése lehet az egyik legjobb megoldás, mely a helyszínen keverhető, összekeverésig pedig ártalmatlan, tehát önmagukban nem robbanásképesek a komponensei. Ez új szintre emelheti a szállítási biztonságot. A tűzserész katonák és rendőrök feladataik során felhasználhatnak különböző kumulatív tölteteket is, melyekkel precíziós robbantási feladatokat kell végrehajtaniuk akár fel nem robbant lőszer, bombák, akár egyéb különleges töltetű robbanótesteket hatástalanításakor. A helyszínen bekeverhető bináris robbanóanyaggal feltölthetőek lehetnek egyes előregyártott műanyag töltettestek (akár kumulatív, akár hasáb alakú), melyeket az adott feladathoz választhat ki az alkalmazó.

A bináris robbanóanyagoknak a felhasználás helyszínére történő veszélytelen szállítása fontos szerepet kaphat a harcoló alakulatoknál is. Könnyen belátható, hogy az aknamentesítő, a speciális robbantó, a mélységi felderítő és a deszant alegységek feladat végrehajtása során milyen jelentősége lehet egy olyan robbanóanyagnak, melyet akár hátizsákban, kisebb töltetek esetén a ruházat zsebeiben úgy vihet magával a katona, hogy az ejtőernyős ugrás során, vagy tűzharcban nem kell attól tartania, hogy az bármilyen külső behatásra felrobbanhat. Ugyanakkor elérve a cél-objektumot, ott a kétféle alkotóelemet összekeverve, a környezeti hatásoknak (hőmérséklet, csapadék, stb.) ellenálló, kis átmérőben is gyutacsindítható robbanóanyaggal rendelkeznek.

Összegezve kijelenthető, hogy a fegyveres testületek, továbbá a katasztrófa- és rendvédelmi szervek robbantási tevékenységeinek vannak olyan részterületei, ahol mérlegelni lehet az ilyen bináris robbanóanyagok alkalmazását. Így a használatuk során jelentős költségek takaríthatók meg, mert a tárolásuk nem igényel speciális körülményeket, mivel nem robbanóanyag tárolás történik. A két komponens tárolható akár külön tároló helyen is.

A téma tárgyalása során szükségessé vált a többkomponensű robbanóanyag fogalmának megalkotása, majd bemutattam az azokat potenciálisan alkotó vegyületeket.

A fejezetet a disszertáció alapvető eleme, az általam alkotott többkomponensű robbanóanyag (TKR) általános jellemzése zárja. A TKR – ellentétben a jelenleg a nemzetközi piacon található helyszínen bekeverhető bináris robbanóanyagokkal – 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 tulajdonágának köszönheti, amelyet tixotróp szuszpenzióknak hívnak. A TKR esetén a tixotróp jelleg az összekeverés után alakul ki, és ez lehetővé teszi a tároló

csomagolásban a rázás által történő homogenizálást, ez által – végeredményként – a kész robbanóanyag kitöltését akármilyen alakos formába is. Azaz egy folyékony fázisból és egy teljesen szilárd (por) fázisból az összekeverés által egy tixotróp, szilárd részecskéket tartalmazó fázis-stabilizált szuszpenzió jön létre. A TKR folyadék fázisának egyik alkotóeleme rendelkezik minden olyan tulajdonsággal, amely az ideális robbanóanyagok esetén előfordul. Azaz: kicsi a kritikus átmérője, az anyagra jellemző detonációsebesség már kis átmérőben is kialakul, detonációsebessége és brizanciája miatt alkalmas üreges töltetek készítésére. A szuszpenziók általános jellege, hogy bizonyos idő függvényében kiülepednek és a folyadékoszlop keresztmetszeti sűrűsége nem lesz ugyanaz a folyadékoszlop alsó és felső részén. A TKR esetén azonban a szuszpenzió tartósan fennmarad, az hónapos nagyságrendek után sem változik és 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 segítségével a felhasználás helyszínén létrehozható tetszőleges formájú és tömegű robbanóanyag töltet, az előre gyártott csomagoló tartályok segítségével. A helyszínen, például plasztikus robbanóanyaggal tölthető robbanótestek esetén különösen fontos, az alkalmazott robbanóanyag egyenletes töltése a töltet-házba, mivel az egyenetlen töltés akár a robbanás megszakadásához, megálláshoz is vezethet. A TKR ezzel szemben lehetőséget biztosít akár kumulatív töltetek megtöltésére is olyan módon, hogy azokban egyenletes sűrűségben, és légbuborék mentesen töltse ki a teret a robbanóanyag. A felhasználása során a megtöltött, pl. vágótöltet-házból a légbuborékok rázás vagy ütögetés hatására 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 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. A TKR-hez megfelelő csomagolás kifejlesztése is szükségessé vált, amely lehetővé teszi a homogén keverék kialakulását és nem képez akadályt az iniciáláshoz sem. E mellett a csomagolás egyben meggátolja az

alkotóelemekkel való fizikai kontaktust is, így sem belélegzéssel sem pedig érintkezéssel nem tudnak az alkotó elemek az emberi szervezetbe bejutni.

A **második fejezetben** bemutattam, hogy az általam fejlesztett TKR felhasználói oldalról történő megfeleléséhez szükséges vizsgálatok elvégzése során olyan nem várt problémába ütköztem, mint az ilyen típusú robbanóanyagokra vonatkozó hazai és nemzetközi szabályozás hiánya. A fejezetben az ezzel kapcsolatos kérdéseket foglaltam össze, majd bemutattam a TKR, általam elvégzett vizsgálati eredményeit. Ennek keretében egy részletes, kilenc részből álló vizsgálati sorozattal, és mért eredményekkel határoltam körbe a TKR tulajdonságait. Az elvégzett vizsgálatok alapján a TKR megfelelt az alapvető biztonsági követelményekben foglaltaknak és így az forgalmazható lenne. A harmonizált hatályos szabványok szerinti vizsgálat nem csak azt a lehetőséget biztosította, hogy összehasonlítható eredményeket kapjak, hanem egyúttal választ adott arra a kérdésre, hogy a termék a megfelelésértékelés során megfelelne-e a vonatkozó direktíva alapvető biztonsági követelményeinek vagy nem. Megfelelés esetén a termék piacképes, felhasználója szempontjából biztonságos. A vizsgálatok mellett ismertettem az Európai Unió területén a robbanóanyagok minősítése során használt típusú tanúsítványt és a gyártás ellenőrzésén alapuló modulrendszer is.

A **harmadik fejezetben** a több komponensű robbanóanyag speciális felhasználási lehetőségeit vizsgáltam. A kifejlesztett TKR gyakorlati alkalmazásának legegyszerűbb módja, ha a komponensek összekeverését követően a csomagoló műanyag tartályt, az adott feladat függvényében külső – összpontosított vagy nyújtott – rátett töltésként használjuk. Ezáltal használható egyes szerkezeti elemek robbantására, vagy például batározáshoz. Az általam kifejlesztett robbanóanyag azonban ennél sokkal több lehetőséget hordoz magában, melyeket gyakorlati kísérletekkel is bizonyított példákkal igazoltam. Ezek során a mért eredmények és képességek alapján különböző célfeladatokat végeztem el, megtervezve az ezekhez szükséges robbanóttesteket is. A legjelentősebb terület szinte az összes közül a kumulatív töltetek tervezése, gyártása, felhasználása volt, ahol mind a TKR-rel töltött összpontosított (lyukasztó) töltetek, mind pedig a lineáris vágótöltetek képességeit és behatolásait vizsgáltam. Ehhez a feladathoz először tisztáznom, elemeznem kellett az üreges töltetek működési mechanizmusát, a kumuláció kialakulását, hogy elvégezhető legyen egy megfelelően működő üreges töltet méretezése. Ugyancsak vizsgálnom kellett a kumulatív töltetekhez használható robbanóanyagokkal szemben támasztott követelményeket is. A kisméretű kumulatív összpontosított töltetek gyártási

sajátosságainak, lehetséges hiba faktorainak jobb megismerése céljából, először összehasonlító kísérleteket végeztem plasztikus robbanóanyagból, illetve préseléssel és öntéssel készített töltetekkel. Az ezek eredményeként szerzett tapasztalatok segítettek a TKR robbanóanyaghoz általam tervezett és készített kumulatív töltet burkolatok kialakításában. A TKR robbanóanyag ez által alkalmas lehet a katonai és a rendvédelmi, továbbá egyes katasztrófavédelmi feladatok során egyszerű rátett összpontosított, vagy kumulatív lyukasztó és vágótöltetekkel szerkezeti elem robbantások, továbbá aknamentesítési és tűzszerész munkák elvégzésére. Az ilyen jellegű feladatokra való alkalmazhatóságát az elvégzett kísérleti robbantásaim sikeressége alátámasztotta. Ezek eredményeként szerzett tapasztalatok segítettek a TKR robbanóanyaghoz általam tervezett és készített kumulatív töltet burkolatok kialakításában. A TKR ilyen jellegű feladatokra való alkalmazhatóságát az elvégzett kísérletek sikeressége alátámasztotta.

A TKR lehetséges felhasználásának egy másik várható speciális területe a robbantásos fémmegmunkálás (plattírozás) lehet. Ez olyan, komplex részletekbe menően megtervezett robbantásokat igényel, hogy a piacon jelenleg elérhető robbanóanyagok közül is csak egy elég szűk spektrum használható erre a munkára. A TKR kis átmérőben való indíthatósága, speciális reológiai tulajdonságai együttesen ígéretes jövőbeli lehetőségeket biztosítanak ezen a területen, melyet a fejezetben bemutatott kísérletekkel bizonyítottam.

A TKR rend- és honvédelmi felhasználásának speciális esete a nyílászárók robbantása lehet, ahol a legtöbb esetben pár 10 g robbanóanyagot használnak fel, és a robbantási gázokat inert anyagokkal a megmunkálandó felületre irányítják. Ilyen víznyomással irányított töltet esetén bizonyosodott be, hogy a TKR ilyen kis robbanóanyag mennyiségben is szignifikáns erőt képvisel és rugalmas felhasználása ezen a területen is alkalmazást nyerhet.

#### **A mellékletekben:**

- Olyan támogató dokumentumok kerültek bemutatásra, amelyekkel bizonyítottam, hogy széles felhasználói körben, gyakorlatban is bemutatásra került a TKR. Katonai-műszaki és különleges alakulatok, a civil szféra és a rendvédelem számára élő bemutatókat szerveztem, ahol valódi céltárgyakon és alkalmazási módszereken sikerült bizonyítani a TKR széleskörű, flexibilis alkalmazhatóságát.
- Fogalommagyarázat és a TKR vizsgálatoknál használt mérőeszközök bemutatása is szerepel a mellékletekben.

- A TKR, civil robbanóanyagok minősítése során előírt Vizsgálati jegyzőkönyve, a B-modul Értékelő jelentése és Tanúsítványa teszi teljessé, a disszertációhoz csatol dokumentumokat.

A kutatásom és a TKR fejlesztése közel 10 évnyi múlta visszatekintő folyamat. Ezen időszak alatt több száz vizsgálatot, mérést, kísérleti robbanást hajtottam végre. Több változat után kialakult egy olyan piacra helyezhető, szabadalommal is védhető termék, amelynek vizsgálatai során egyértelműen körülhatárolódtak azok a területeket, ahol hiánycikk az ilyen képesség, vagy éppen a termék elérhetősége a jelenkori események miatt akadozik. Olyan lehetőséget képvisel, amelynek újításai széleskörű lehetőségeket kínálnak a civil területtől a különleges katonai, rend- vagy akár katasztrófavédelmi alkalmazásokig.

## **Új tudományos eredmények**

Az értekezésemben valós vizsgálati eredményeken keresztül bemutatva és értelmezve az alábbiakban összefoglalt tudományos eredményeket születtek.

1. Vizsgálatokkal és kutatási eredményekkel igazoltam, hogy a jelenlegi ipari és katonai biztonsági környezetben szükséges lehet egy különleges feladatok ellátására, vagy speciális műszaki robbantástechnikai feladatokhoz alkalmas helyszínen előállítható, kis átmérőben gyutacsindítható többkomponensű robbanóanyagra, ahol kis töltet méret és nagy brizancia szükséges. A keverék optimalizálható adalékanyagokkal, hogy nagyobb brizanciát mutasson, vagy éppen módosítható hogy kedvezőbb oxigénegyenlege legyen. A csomagolása széles körben célzott módon alakítható, továbbá széles (negatív és pozitív) hőmérséklet tartományban felhasználható marad.
2. Az általam kifejlesztett TKR egy olyan termék, amely a katonai robbanóanyagok, a speciális termékek és a civil területre szánt robbanóanyagok metszetén helyezkedik el úgy, hogy biztonságosan használható, a rugalmas csomagolásának és a könnyű megsemmisítésének (hatástalanításának) köszönhetően azokhoz képest többféle előnyt is biztosít. Összetevői egyenként nem robbanóanyagok, így biztonságosan tárolható és szállítható. A felhasználás helyszínén egyszerűen összekeverve ezeket, kis átmérőben gyutacsindítható robbanóanyag készíthető belőle, mely aztán megfelelő burkolatba öntve már pl. kumulatív összpontosított vagy lineáris vágótöltet töltete is lehet. Ha a felhasználására mégsem kerül sor, folyadék

hozzátöltésével robbanási tulajdonságait elveszíti, így szállítása és tárolása megint biztonságossá válik.

3. Vizsgálatokkal és kutatásaimmal igazoltam: annak ellenére, hogy a bináris vagy többkomponensű robbanóanyag mint fogalom hiányzik a harmonizált szabványokból, a többkomponensű robbanóanyagok vizsgálhatóak, értékelhetőek a jelenlegi szabványok szerint. A tesztek során mért értékek alapján a TKR tulajdonságai összevethetőek a többi már elterjedt robbanóanyaggal.
4. Vizsgálatokkal igazoltam hogy az általam kifejlesztett helyszínen előállítható többkomponensű robbanóanyag, a homogén robbanóanyagokra jellemző brizanciával, kezelésbiztossággal, gyutacsérzékenységgel rendelkezik és a gyakorlati élet számos területén alkalmazható:

### **Ajánlások**

Javaslom a harmonizált szabványok vizsgálati módszertanába a bináris, többkomponensű robbanóanyagokat beépíteni.

Javaslom a TKR felhasználási lehetőségeit élő vizsgálattal, kőbányaszatban végrehajtani, mint a keverő-töltő gépkocsikba előállított, nem gyutacsérzékeny robbanóanyagok indító töltetét.

Javaslom a TKR robbantásos fémmegmunkálásra (plattírozás, portömörítés, alakítás, stb.) történő alkalmazhatóságának további kutatását, egy szakértőkből álló kutatócsoport által.

Javaslom egy gyártósor tervezését és költségbecslését, valamint a gyártás gazdaságossági mutatóit kiszámolni.

Az esetleges katonai felhasználások szélesebb körű felmérésére és tesztelésére javaslom egy néhány fős szakértői munkacsoport létrehozását.

A TKR honvédségi felhasználása esetén javaslom a TKR kiemelt állami fejlesztésként kezelni, és ehhez kutatócsoportot létrehozni.



## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Lukács László: Szemelvények a magyar robbantástechnika fejlődéstörténetéből, különös tekintettel a továbbfejlesztés várható irányaira és a kor új kihívásaira; Dialóg Campus kiadó, Budapest, 2017, ISBN 978-615-5680-35-9.
- [2] Jared, B. L.: Preparatory manual of black powder and pyrotechnics, Ledgard 2006, ISBN 13: 9780615174273.
- [3] Benke István et al.: A magyar bányászat évezredes története, 1. kötet, OMBKE, Budapest, 1997, ISBN 9639038024.
- [4] 2022/C 247/01. A Bizottság közleménye – A termékekre vonatkozó uniós szabályozásról szóló 2022. évi útmutató (A kék útmutató), 5.1.1.
- [5] Gőcze István: A tudományos kutatás módszerei; Hadtudományi Szemle, Budapest, 2014. évf. 3. szám.
- [6] Needham, J.: Science and civilisation in China, vol.5, Chemistry and chemical technology, Part 7, The military technology: the gunpowder epic, cambridge university press, 1986, ISBN: 9780521303583.
- [7] Szczepanski, K.: „The Invention of Gunpowder: A History”. ThoughtCo, Jan. 26, 2021, [thoughtco.com/invention-of-gunpowder-195160](https://www.thoughtco.com/invention-of-gunpowder-195160). letöltve: 2022 10 21.
- [8] Dingxiang, Z.: Theory and Technology of Rock Excavation for Civil Engineering, Springer, 2017, DOI 10.1007/978-981-10-1989-0.
- [9] Fedoroff, B. T.: Encyclopedia of Explosives and Related Items, Vol.1, Picatinny Arsenal, 1960, Dover NJ.
- [10] U.S. Pat. No. 2,402,192A Process for the production of ammonium-nitrate, (1943).
- [11] U.S. Pat. No. 2,602,732A Ammonium nitrate explosive, (1947).
- [12] Molnár László: Az MM Tammonit megnevezésű robbanóanyag és robbanótöltet család bemutatása, a Mechanikai Művek Tt. Speciális Divízió fejlesztési tevékenységének keretei között. Műszaki Katonai Közlöny 6. Évf., 1996/4 szám. 20-33.
- [13] Lukács László: Környezetkímélő katonai robbantások alkalmazása a magyar honvédségnél, Műszaki Katonai Közlöny, XXV. évfolyam, 2015. 2. szám. 22-83.
- [14] Juhász, N. B. – Maljucskova, L.: Ipari robbanóanyagok fejlesztése. A Nitrokémia Ipartelepek évkönyve 1972.

- [15] Maljucskova, L.: Az alumínium pigmentek felhasználása slurry robbanó rendszerek hatékonyságának növelésére. A Nitrokémia Ipartelepek évkönyve 1976-1984.
- [16] U.S. Pat. No. 3,566,790A Packaged aqueous slurry type explosives, (1968).
- [17] Tóth József: Az emulziós robbanóanyagok története és katonai alkalmazhatóságának lehetősége, Műszaki Katonai Közlöny, 2007/1-4. összevont szám. 157-170.
- [18] Földesi János - Földesi Tamás - Földesi Lóránd.: Korszerű robbantástechnikai termékek és eszközök használatának műszaki és gazdasági előnyei, Kő és Kavicsbányászati konferencia, Velence 2015.
- [19] Norwegian Directorate for Civil Protection (DSB), Explosion Accident during Mobile Production of Bulk Explosives, 2015.
- [20] European patent: EP 3 020 694 A1, Methods for producing explosive ANFO and Heavy ANFO compositions, p. 2.
- [21] Forrás:<http://npgm-russia.com/product-catalog/machine-mixing-and-chargers/acatalogitems/73-mszu-14-npb-k.html>, Letöltve: 2023 08 25.
- [22] Az Európai Parlament és a Tanács 2006/42/EK irányelve (2006. május 17.) a gépekről és a 95/16/EK irányelv módosításáról.
- [23] Kugyela Lóránd: Robbanóanyag keverő-töltő gépkocsik alkalmazásának előnyei a robbanóanyagok közúti szállításának szemszögéből. Katonai Logisztika. 2019. évi 3. szám. 162-177. DOI: 10.30583/2019/3/162.
- [24] Gowland, W. - Messel, R. - Spiller, J. (1907). Obituary notices: Frederic Just Claudet, 1826–1906; Hermann Johann Philipp Sprengel, 1834–1906; George Bowdler Buckton, 1818–1905. J. Chem. Soc., Trans., 91(0), DOI:10.1039/ct9079100660.
- [25] U.S. Pat. No. 3,523,047A Hydrazine and aluminum containing explosive compositions, (1968).
- [26] Bruce, J.: Az Astrolite-robbanóanyagok. Haditechnikai Szemle 1970/1. 31-32. (az Ordnance 1969. május-júniusi számban megjelent cikk alapján).
- [27] Czapek Béla: Új robbanóanyagok az építés szolgálatában. Haditechnikai Szemle 1977/3. 84-88.
- [28] Shepherd, L. – Robert, T. S.: Technical Report ARLCD-TR-78010 an Evaluation of Liquid Explosives for Foxhole Digging, April 1978. US Army Armament Research and Development Command, Large Caliber Weapon Systems Laboratory, Dover, New Jersey USA.

- [29] U.S. Pat. No. 3,718,512 Porous Particles Containg Organic Liquid And Gaseous Components, (1970).
- [30] U.S. Pat. No. 6,960,267 B1 Multi-component liquid explosive composition and method. (Nov. 1, 2005).
- [31] U.S. Pat. No. 6,405,627 Multi-component liquid explosive composition and method (2003).
- [32] US Pat. No. 9,506,729 B2 Field mixable two-component liquid explosive (Nov. 29, 2016).
- [33] U.S. Pat. No. 5,970.841 Humanitarian demining device (Mar. 30 1998).
- [34] U.S. Pat. No. 5,226,986 Multi-component liquid explosive composition and method. (Nov. 1, 2005).
- [35] Two Component High Explosive Mixtures and Improvised Shaped Charges, 1st ed. 1982. Desert Publications. ISBN:0-87947-251-0.
- [36] Kugyela Lóránd: A többkomponensű robbanóanyagok múltja, jelene és jövője, *Katonai Logisztika* 2020. évi 4. szám, pp. 58-75.
- [37] Dubé, P., 2004: Study of the Environmental Impacts of the Blowin-Place Procedure of Various Explosives. Munitions and Charges. Defence R&D Canada-Valcartier.
- [38] Anderson, C.J. - Bauer, A.W. (2001): FIXOR: A New Approach to Neutralizing Landmines and UXO. *Journal of Mine Action*. Vol. 5. Iss. 2, Article 32. 86-87; 112.
- [39] Daruka Norbert: A robbanóeszközök megsemmisítésének lehetőségei a tűzszerész feladatok tekintetében. *HADITECHNIKA* 2010. VI. Nemzetközi Haditechnikai Szimpózium 2010. május 6–7. Budapest (megjelent a konferencia kiadvány CD-n).
- [40] 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.
- [41] Fletcher, L. R. - D'Andrea, D.V. - Dick, R. A. (1983): Explosives and Blasting Procedures Manual. US Department of Interior.
- [42] Walter, E. J. - Konya, C. J. (1991): Rock blasting and overbreak control. US. DOT, Federal Highway Administration.
- [43] Forrás:<https://puraset.hu/hu/femtechnologia/kutatas-fejlesztes-1/termekek/felulethegeesztett-retegelt-fem>, Letöltve: 2022 10 30).
- [44] Lukács László – Szalay András: Robbantástechnika a hazai katonai szakfolyóiratokban 1945-1990. között II. rész – Robbantásos fémmegmunkálás. *Katonai Logisztika*, 2002. 4. szám, 194-242.

- [45] Lancaster, J. F.: Metallurgy of Welding, Springer, 1980, DOI: 10.1007/978-94-010-9506-8.
- [46] Köhler, J.– Meyer, R.: Explosives – 6th edition. Wiley, 2007, ISBN: 978-3-527-31656-4.
- [47] Ember István: A lőszermentesítés szerepe az építőiparban, Építőanyag. 72 évf. 2020/2. szám. 59-63. DOI: 10.14382/epitoanyag-jsbcm.2020.9.
- [48] Ember István: A dunai alacsony vízállások tűzszerész tapasztalatai 2018-ban. Műszaki Katonai Közlöny. 29. évf. 2019/3. szám. 65-77. DOI: 10.32562/mkk.2019.3.5.
- [49] Ember István: Gránátok és bombák – Mit tegyünk robbanásveszély esetén? XIII. Kő- és Kavicsbányász Napok konferencia kiadvány. (2020) Budapest. ISBN: 9786155831164.
- [50] Ember István: Alternatíva a tűzszerész szakfeladatok során alkalmazható kumulatív töltetekre. Seregszemle. 2016/14. évf. 3– 4 szám. ISSN: 2060-3924.
- [51] Ember István: Lehetőségek a tűzszerész-szakkiképzés fejlesztésére. Műszaki Katonai Közlöny 30 évf. 2020/1. szám, 99-110. DOI: 10.32562/mkk.2020.1.7.
- [52] Ember István: A tűzszerész-szakkiképzés rendszerének fejlesztése felderítőtűzszerész-felkészítés kialakításával. Honvédségi Szemle. 148 évf. 2020/1. szám. 66-77. DOI: 10.35926/HSZ.2020.1.5.
- [53] Hernád Mária: Tűzszerész feladatok végrehajtása során előforduló egészségügyi kockázatok, Fúrás–robbantástechnika 2010. Nemzetközi Konferencia Balatonkenese 2010. szeptember 8–10, HU ISSN 1788–5671.
- [54] Kent, P. - James, A. (1992): Riegel's Handbook of Industrial Chemistry. New York, Van Nostrand Reinhold, 1211.
- [55] William, E. G.: Detonation limits in composite explosives, 10th Symposium on Combustion, The Combustion Institute, 1965. 833-838.
- [56] Jiping Liu: Liquid Explosives. 2015. Springer, ISBN : 978-3-662-45846-4.
- [57] Lukács László: Robbantástechnika a hazai katonai szakfolyóiratokban az 1800-as évek végétől napjainkig. Budapest: Ludovika. 84-87.
- [58] Railroad Accident Investigation, Ex Parte No. 213 Illinois Central Railroad Company
- [59] Blast Cause Sought. (1958). Chemical & Engineering News, 36(24), 28–35. DOI:10.1021/cen-v036n024.p. 028.

- [60] Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2019/1009 rendelete (2019. június 5.) az uniós termésközelítő anyagok forgalmazására vonatkozó szabályok megállapításáról.
- [61] Daruka Norbert: Érzéketlen robbanóanyagok I. – Célkeresztben a TNT és a Composit B kiváltása, Műszaki Katonai Közlöny, 33. évfolyam (2023) 2. szám 5–21. • DOI: 10.32562/mkk.2023.2.1.
- [62] FM 5-250 Explosives and demolitions, Headquarters, Department of the Army, Washington, D.C. USA, 15 June 1992.
- [63] Military Engineering, Volume II. Field Engineering, Pamphlet No. 4. Demolitions, Army Code No. 712771 (Pam 4) Ministry of Defence, UK, 1988.
- [64] Mahadevan, E. G., 2013: Ammonium Nitrate Explosives for Civil Applications. Wiley-VCH Verlag & Co.
- [65] Kugyela Lóránd: Kisméretű, öntött robbanóanyagból készült üreges töltetek gyártása kísérleti célból, Műszaki Katonai Közlöny 28, 2018/1. 39-48.
- [66] Kugyela Lóránd: Különböző robbanóanyagból készült kisméretű kumulatív töltetek teljesítményének összehasonlító vizsgálata Műszaki Katonai Közlöny 28. 2018/3.pp. 280-298.
- [67] Kugyela Lóránd: Penetration efficiency of small sized conical shaped charges in steel targets Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik - Mining Geological Petroleum Engineering Bulletin 34, 2. 2019.pp. 27-34.
- [68] 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. p.24.Fig. 35.
- [69] Az Európai Parlament és a Tanács 2014/28/EU irányelve a polgári felhasználású robbanóanyagok forgalmazására és ellenőrzésére vonatkozó tagállami jogszabályok harmonizációjáról.
- [70] Általános Robbantási Biztonsági Szabályzat, 27/2022. (I. 31.) SZTFH rendelet az Általános Robbantási Biztonsági Szabályzatról.
- [71] Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2019/1148 Rendelete (2019. június 20.) a robbanóanyag-prekurzorok forgalmazásáról és felhasználásáról, az 1907/2006/EK rendelet módosításáról.
- [72] A Bizottság 2008/43/EK Irányelve a polgári felhasználású robbanóanyagok azonosítási és nyomon követhetőségi rendszerének a 93/15/EGK tanácsi irányelv értelmében történő létrehozásáról.

- [73] NATO - STANAG 4170; Principles and methodology for the qualification of explosive materials for military use.
- [74] Klapötke, Thomas M.: Chemistry of High-Energy Materials, DeGruyter, 2019. 5th ed. DOI:10.1515/9783110624571.
- [75] NATO - AOP-4526 Shaped charge jet impact test procedures for munitions.
- [76] Forrás:[https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/manual/Rev7/Manual\\_Rev7\\_E.](https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/manual/Rev7/Manual_Rev7_E.) , Letöltve: 2023 08 25.
- [77] O'Barr, G. L. – Cambell, M. D.: Effects of low temperatures on detonation velocity and other explosive parameters for linear shaped charge systems. Advances in Cryogenic Engineering, volume 12, 1966. 690-699. DOI: 10.1007/978-1-4757-0489-1.
- [78] Forrás:<http://bgi.uni-miskolc.hu/v2/index.php?w=hirek&id=18>, Lekérdezés: 2023 08 25.
- [79] Jacqueline A.: The chemistry of Explosives, The Royal Society of Chemistry, 1998, ISBN 0-85404-563-5.
- [80] Muhamed S.: Test Methods for Explosives, Springer New York, NY, DOI:10.1007/978-1-4612-0797-9.
- [81] Bohus Géza – Horváth Zoltán – Papp József.: Ipari robbantástechnika, Műszaki Könyvkiadó, 1983.
- [82] Matyás, Robert - Zeman, Svatopluk - Trzciński, Waldemar - Cudziło, Stanisław. (2008). Detonation performance of TATP/AN-based explosives. Propellants, Explosives, Pyrotechnics. 33. DOI:10.1002/prop.200700230.
- [83] Mertuszka, P. – Pytlik, M.: Analysis and comparison of the continuous detonation velocity measurement method with the standard method: High Energy Materials, 2019, 11 (2); DOI: 10.22211/matwys/0182.
- [84] Kugyela Lóránd: Robbanóanyagok alkalmazása a barlangkutatásban, a barlangi mentésben, 100 éves a szervezett magyar barlangkutatás, Konferencia előadások Budapest 2011, Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat, pp. 63-69.
- [85] Kugyela Lóránd: Measuring the jet velocity of the shaped charges, blasting techniques. Conference proceedings of 31th International Conference Stará Lesna 2019,; Slovak Society for Blasting and Drilling Works. pp. 83-86.
- [86] Oertzen, A. V.: Demonstration of proficiency by round-robin tests among explosives notified bodies. EFEE. 2013. 7th World Conference On Explosives and Blasting. Moscow.

- [87] Pachman, J.: Development of performance testing at IEM, Proceedings of the 21 Seminar on New Trends in Research of Energetic Materials, Czech Republic, 2018.
- [88] Kramarczyk, B. – Pytlik, M. – Mertuszka, P.: Effect of aluminium additives on selected detonation parameters of a bulk emulsion explosive, High Energy Materials, 2020, 12 (2), DOI 10.22211/matwys/0197.
- [89] MSZ EN 13631-1:2005 Polgári alkalmazású robbanószerkek. Brizáns robbanóanyagok 1. rész: Követelmények.
- [90] Kugyela Lóránd: Üreges töltetek tervezési sajátosságai, főbb paramétereit. Műszaki Katonai Közlöny 27. 2017/ 4. 196-211.
- [91] Birkhoff, G. - MacDougall, D.P. - Pugh, E.M. - Taylor, G.I.: Explosives with Lined Cavities, J. Appl. Phys. Vol. 19. No. 6. June 1948.
- [92] Walters, W.: Introduction to Shaped Charges. US Army Research Laboratory, ARL-SR-150, 2007.
- [93] Lukács László: A kumulatív hatás és a kumulatív töltetek méretezése - akadémiai jegyzet. ZMKA Műszaki tanszék, Budapest, 1992.
- [94] US Pat. No. 7,752,972 B1 Low reaction rate, high blast shaped charge waveshaper, (2007)
- [95] Kugyela Lóránd: Különböző robbanóanyagból készült kisméretű kumulatív töltetek teljesítményének összehasonlító vizsgálata. Műszaki Katonai Közlöny 28. évfolyam2018/3. szám, 280-298.
- [96] MŰ–224/18. Nyílászáró robbantási szakutasítás. Honvéd Vezérkar Hadműveleti Csoportfőnökség 2012.
- [97] Kugyela Lóránd: Performance test of small size shaped charges; Proceedings of Seminar on New Trends in Research of Energetic Materials Pardubice, Csehország: University of Pardubice, 2018. pp. 188-198.
- [98] Bugyás József: A kumulatív hatás modellezése és számítógépes szimulációja végelem módszer felhasználásával. Doktori (PhD) értekezés. Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Bolyai János Katonai Műszaki kar, Katonai Műszaki Doktori Iskola, Budapest, 2010.
- [99] Carvalho, Gustavo & Galvão, Ivan & Mendes, R. & Leal, Rui & Loureiro, A. (2020). Aluminum-to-Steel Cladding by Explosive Welding. Metals. 10. 1062. DOI:10.3390/met10081062.
- [100] Akbari Mousavi, A. A. - Burley, Stephen J. - Al-Hassani, S. T. S. – Brown, W. Byers: Simulation of Explosive Welding with ANFO Mixtures, Propellants,

Explosives, Pyrotechnics, Volume 29, Issue 3, June 2004. 188-196. DOI: 10.1002/prop.200400042C.

- [101] Forrás:[https://www.nobelclad.com/-/media/Project/DMC/NobelClad/Resource-Files/Detaclad\\_Titanium.pdf](https://www.nobelclad.com/-/media/Project/DMC/NobelClad/Resource-Files/Detaclad_Titanium.pdf), Letöltve: 2023 04 23)
- [102] Lukács László – Rácz Pál (szerk.): Nagyenergiájú fémmegmunkálás. Jegyzet. Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Budapest, 2013.
- [103] Lukács László - Szalay András - Zádor István: Robbantásos félalakítás és a repüléstechnika. Repüléstudományi Közlemények, XXIV. évfolyam, 2012/2. szám, 431-446.
- [104] Zádor István – Mamalis, A. G. – Szalay András – Lukács László: Fémcsövek alakítása robbantással, növelt hatásfokú hőcserélő készítéséhez. Műszaki Katonai Közlöny, XXII. évfolyam, TÁMOP Különszám, 2012. 128-139.
- [105] Lukács László – Szalay András – Zádor István: Robbantással készített drótkötél hurok. Műszaki Katonai Közlöny, XXIII. évfolyam 3. szám, 2014. 75-88.
- [106] Szalay András – Zádor István – Lukács László: A repülőgépek gyártásánál alkalmazható két- és háromrétegű fémanyagok előállítás robbantásos plattírozással. Repüléstudományi Közlemények, XXIV. évfolyam, 2012/2. szám, 447-459.
- [107] Szalay András – Zádor István - Lukács László: Kerámia szigetelésű fémszerelvények készítése robbantásos portömörítéssel. - előadás a XIV. Képlékenyalakító Konferencián, Miskolc, 2012. 02. 16-17. – megjelent a konferencia kiadványában.
- [108] Banker, John & Barberis, P. & Dean, S.. (2010). Explosion Cladding: An Enabling Technology for Zirconium in the Chemical Process Industry. Journal of Astm International. 7. DOI:10.1520/JAI103050.



## ÉRTEKEZÉssel KAPCSOLATOS PUBLIKÁCIÓIM

- [KL1] Kugyela, L. (2022). A CerTrust KFT. robbanóanyag vizsgálatáról. In Fúrás-  
Robbantástechnika Nemzetközi Szimpózium Különkiadás 2022 (pp. 122–132).
- [KL2] Ember, I., Bakos, T., & Kugyela, L. (2021). Moduláris betonfal alkalmazási  
lehetőségei a robbanás elleni védelemben. *Hadtudomány: A Magyar Hadtudományi  
Társaság Folyóirata*, 31(3), 77–90. <http://doi.org/10.17047/HADTUD.2021.31.3.77>.
- [KL3] Kugyela, L. (2020b). The test methods for smokeless powders. In *ZBORNÍK  
PREDNÁŠO TRHACIA TECHNIKA 2020* (pp. 98–103).
- [KL4] Kugyela, L. (2020a). A többkomponensű robbanóanyagok múltja, jelene és  
jövője. *Katonai Logisztika*, (4), 58–75. <http://doi.org/10.30583/2020.4.058>.
- [KL5] Kugyela, L. (2019c). Robbanóanyag keverő-töltő gépkocsik alkalmazásának  
előnyei a robbanóanyagok közúti szállításának szemszögéből. *Katonai  
logisztika*, 27(3), 162–177. <http://doi.org/10.30583/2019/3/162>.
- [KL6] Kugyela, L. (2019b). Experiments With Small Size Shaped  
Charges. *Hadmérnök*, 14(2), 99–110. <http://doi.org/10.32567/hm.2019.2.8>
- [KL7] Kugyela, L. (2019a). Conclusions of the thermal stability Round-Robin tests among  
notified bodies. In *Proceedings of the 22nd Seminar on New Trends in Research of  
Energetic Materials* (pp. 495–502).
- [KL8] Lorand, K. (2019). Measuring the jet velocity of the shaped charges. In *Trhacia  
Technika 2019: Zborník Prednášok: 31. medzinárodná konferencia = Blasting  
Techniques 2019: Conference Proceedings: 31th International Conference* (pp. 83–  
86).
- [KL9] Lóránd, K. (2019). Penetration efficiency of small sized conical shaped charges in  
steel targets. *Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik - Mining Geological Petroleum  
Engineering Bulletin*, 34(2), 27–34.
- [KL10] Daruka, N., & Kugyela, L. (2018b). Ipari robbanóanyagok megjelenésének  
lehetőségei az improvizált robbanószerkezetek kialakításának  
tekintetében. *Robbantástechnika*, (35), 155–174.
- [KL11] Kugyela, L. (2018b). Különböző robbanóanyagból készült kisméretű kumulatív  
töltetek teljesítményének összehasonlító vizsgálata. *Műszaki Katonai  
Közlöny*, 28(3), 280–298.

- [KL12] Kugyela, L., Lapat, A., Lebics, F., & Lakits, G. (2018). Tüzijáték tortagyertyák vizsgálata biztonsági szempontból. In *Blasting Techniques 2018: 30th International Conference* (pp. 90–98).
- [KL13] Kugyela, L. (2018a). Kisméretű, öntött robbanóanyagból készült üreges töltetek gyártása kísérleti célból. *Műszaki Katonai Közlöny*, 28(1), 39–48.
- [KL14] Lorand, K. (2018). Performance test of small size shaped charges. In *Proceedings of Seminar on New Trends in Research of Energetic Materials* (pp. 188–198).
- [KL15] Dr. Lapat, A., Lebics, F., Dr. Mell, P., Lakits, G., & Kugyela, L. (2017). Kísérleti robbantások helyszínén vett talajminták analitikai vizsgálatainak tapasztalatai. *Műszaki Katonai Közlöny*, 27(3), 38–45.
- [KL16] Kugyela, L. (2017c). Üreges töltetek tervezési sajátosságai, főbb paraméterei. *Műszaki Katonai Közlöny*, 27(4), 196–211.
- [KL17] Kugyela, L. (2017b). Testovanie a pouzívanie zmesi HSL: The intraduction of the HSL flash composition test and it's usage in practice. In *Trhacia technika 2017*.
- [KL18] Kugyela, L. (2017a). A HSL villanóelegy teszt ismertetése és gyakorlati alkalmazása. *Műszaki Katonai Közlöny*, 27(2), 22–31.
- [KL19] Kugyela, L. (2016). Porovnanie malorozmernih plastických, liatych alisovanych kumulativnych nálozi. In *Trhacia technika 2015: zborník prednášok z medzinárodnej konferencie* (pp. 169–175).
- [KL20] Hernád, M., & Kugyela, L. (2012). Risk of carbon monoxide intoxication in explosions. *Hadmérnök*, 7(2), 56–64.
- [KL21] Hernád, M., & Kugyela, L. (2011). Szén-monoxid mérgezés veszélye a robbantástechnikában. *Műszaki Katonai Közlöny*, 21(1–4), 109–124.
- [KL22] Kugyela, L. (2011a). Oxid uholnaty pri trhacich prácach. In *Trhacia technika 2011* (pp. 137–142).
- [KL23] Kugyela, L. (2011b). Robbanóanyagok alkalmazása a barlangkutatásban, a barlangi mentésben. In *100 éves a szervezett magyar barlangkutatás / 100 years of organized Hungarian Speleology* (pp. 63–69).
- [KL24] Kugyela, L. (2010). Trhacie práce a jaskynné záchranárstvo. In *Trhacia technika 2010: zborník prednášok z medzinárodnej konferencie* (pp. 176–186).
- [KL25] Kugyela, L. (2023b). The strange case of the binary explosives. In *Zborník Prednášok 32. Medzinárodnej Konferencie Trhacia Technika 2023 - Conference Proceedings 32th International Conference Blasting Technique 2023* (Pp. 139–147).

- [KL26] Kugyela, L. (2023a). A helyszíni keverésű több komponensű robbanóanyagok felhasználási lehetőségeinek vizsgálata. In II. Fúrás- Robbantástechnika nemzetközi szimpózium különkiadás 2023 (pp. 68–84).
- [KL27] Kugyela, L. (2023). A helyszíni keverésű több komponensű robbanóanyagok felhasználási lehetőségeinek vizsgálata, In: Daruka, Norbert; Ember, István; Kovács, Zoltán Tibor (szerk.) II. Fúrás- Robbantástechnika nemzetközi szimpózium különkiadás, Magyar Robbantástechnikai Egyesület (2023) 172 p. pp. 68-84. , 17 p.

Kézirat lezárva: 2024 01 24

## RÖVIDÍTÉSJEGYZÉK

**ADR:** Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Megállapodás

**AN:** Ammonium-nitrát

**ANDO:** Ammónium-nitrát dízel olaj keveréke. Angolul ANFO

**BOOSTER:** Erősítő robbanóanyag töltet amely olyan anyagok stabil iniciálására használatos ahol a 8-as erősségű gyutacs nem elegendő vagy nem megfelelően indítja a robbanóanyagot.

**Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>:** Kalcium-nitrát

**CEN:** Comité Européen de Normalisation, nonprofit szabványosítási tevékenységet összefoglaló szervezet.

**COMP-B:** Composit-B, robbanóanyag keverék. TNT és hexogén 60:40 arányú keveréke

**DETA:** Dietilén-tetramin

**EDA:** Etilén-diamin

**EFP:** Explosively Formed Penetrator, robbanással által formált penetrátor, kumulatív töltetekhez hasonló működésű robbantóeszköz.

**EN:** Europäische Norm, European Norm európai szabvány

**ESR:** Essential Safety Requirements

**FDM:** Fused Deposition Modeling, szálhúzásos 3D nyomtatás

**GMB:** Glass micro ballon. üveggyöngy, mikroszféra. Mechanikus érzékenyítőszers

**HAS:** Harmonised Standard, harmonizált szabvány

**HMTA:** hexamin, urotropin, hexametilén-tetramin

**HMX:** 1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetraza-ciklooktán, oktogén

**HNO<sub>3</sub>:** Salétromsav

**HPE:** Hidrogén-peroxid emulzió. Új fejlesztés, amely teljesen nélkülözi a nitrátokat ezáltal az új „zöld” robbanóanyag irányvonal első futára.

**K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>:** Kálium-karbonát

**KCl:** Kálium-klorid

**KNO<sub>3</sub>:** Kálium-nitrát

**MEMU:** Mobile Explosive Mixing Unit, mobil robbanóanyag keverő állomás. Lehet gépjárműre szerelt vagy targoncával telepített mozgatható bányai gyártóegység.

**NaNO<sub>3</sub>:** Nátrium-nitrát

**NC:** Nitro-cellulóz

**NE:** Nitroetán

**NG:** Nitro-glicerin

**NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>:** Ammónium-nitrát

**NM:** Nitrometán

**NMF:** Nem megfeleléség

**PDA:** Propiléndiamin

**PETN:** Pentaeritrit-tetranitrát, nitropenta, pentrit

**PIBSA:** Poliizobutilén borostyánkősavanhidrid

**RDX:** 1,3,5-trinitro-1,3,5-triazaciklohexán, hexogén

**RZS:** Robbanózsínór

**SMO:** Szorbitol-monooleát

**STANAG:** Standardization agreement, NATO Egységesítési Egyezményeinek rövidítése

**TKR:** A disszertáció tárgyat képező több komponensű robbanóanyag

**TNP:** 1,5-diklor-3,3-dimetoxi-2,2,4,4- tetranitropentán

**TNT:** Trotil, 2,4,6 trinitro-toulol

**TORPEX:** 42% RDX, 40% TNT and 18% alumínium keveréke

**VKK:** Vizsgálatok és Kritériumok Kézikönyve

## TÁBLÁZATJEGYZÉK

|  |    |
|--|----|
| 1. táblázat: Napjainkban használt bináris robbanóanyagok.....  | 21 |
| 2. táblázat: Ipari és katonai robbanóanyagokkal szemben támasztott követelmények.....                                | 23 |
| 3. táblázat: A három legfontosabb nitroparaffin tulajdonságai.....   | 29 |
| 4. táblázat: Szervetlen nitrátok fontosabb tulajdonságai.....  | 30 |
| 5. táblázat: A robbanóanyagok, primer robbanóanyagok és boosterek vizsgálatai.....                                   | 41 |
| 6. táblázat: Robbanóanyagok vizsgálati szabványai, és a megfelelőségük értékelése.....                               | 44 |
| 7. táblázat: Különböző robbanóanyagok ütés- és dörzsérzékenysége.....  | 50 |
| 8. táblázat: Különböző robbanóanyagok sűrűsége.....  | 51 |
| 9. táblázat: Különböző robbanóanyagok detonációsebessége.....  | 53 |
| 10. táblázat: TKR detonációsebességének mérése 12 mm átmérőben.....  | 54 |
| 11. táblázat: Táblázat a különböző iniciálások összehasonlításával.....  | 56 |
| 12. táblázat: Az TKR megfelelőségi vizsgálatai összesített eredménye.....  | 59 |
| 13. táblázat: A robbanóanyagok vizsgálati szabványának és az irányelv biztonsági követelményeinek összefüggései..... | 62 |
| 14. táblázat: Kísérleti kumulatív töltet robbantások eredményei.....   | 80 |
| 15. táblázat: Plattírozott cső átmérőjének mérése 14 ponton, az aszimmetriák ellenőrzésére.....                      | 94 |

## ÁBRAJEGYZÉK

|  |    |
|--|----|
| 1. ábra: A szétvált robbanóanyag rendszer folyadék fázisa, klasszikus KINEPAK keverék esetén .....     | 34 |
| 2. ábra: A TKR mint nem robbanóanyag, keverés közben és robbanóanyagként.....                          | 35 |
| 3. ábra: Tüzérségi lőszer tűzszerész mentesítése helyszínen töltött lineáris vágótöltete               | 36 |
| 4. ábra: A katonai (jobb) és a civil (bal) robbanóanyag fejlesztések tendenciái és mérföldkövei.....   | 42 |
| 5. ábra: Több komponensű robbanóanyag hőkezelési diagrammja.....                                       | 45 |
| 6. ábra: Ciklusos hőkezelési diagramm.....   | 47 |
| 7. ábra: TKR 8 mm átmérőjű rézcsőben acél céltárgyon, keresztmetszeti kép.....                         | 55 |
| 8. ábra: TKR 10x1 mm vörösréz csőben történő robbanásának stabilitás vizsgálata.....                   | 55 |
| 9. ábra: Hess-féle brizancia vizsgálat eredményei.....   | 58 |
| 10. ábra: Alumínium tanulemez a stabil detonáció szemléltetésére.....                                  | 58 |
| 11. ábra: Az alapvető biztonsági követelmény hármas metszete.....                                      | 59 |
| 12. ábra: A termék tanúsítás folyamatának sematikus ábrája.....  | 61 |
| 13. ábra: A megfelelésértékelés alapját képező kettős modulstruktúra.....                              | 64 |
| 14. ábra: A bélés kúp átalakulása a detonációs front hatására.....                                     | 68 |
| 15. ábra: A kollíziós pontban végbemenő anyagáramlások.....  | 68 |
| 16. ábra: Egy kumulatív töltet sematikus ábrája.....   | 70 |
| 17. ábra: Az árnyékoló betét hatásmechanizmusa.....  | 72 |
| 18. ábra: A kritikus átmérő jelentősége az egyenetlen töltés, és iniciálás esetén.....                 | 76 |
| 19. ábra: Hibás vágótöltet vágási teljesítményének csökkenése.....                                     | 77 |
| 20. ábra: A kumulatív töltet részei, és az összeállított töltet a céltárgyon.....                      | 83 |
| 21. ábra: A töltet által átlyukasztott 30 mm vastag acélkorong bemeneti és kimeneti oldala.....        | 84 |
| 22. ábra: 25 g (b) 50 g (j) bináris robbanóanyag behatolásának röntgenképe.....                        | 84 |
| 23. ábra: 25 g (b) 50 g (j) alumíniummal erősített bináris robbanóanyag behatolásának röntgenképe..... | 84 |
| 24. ábra: Lineáris vágótöltet ház szerkezeti felépítése.....   | 85 |
| 25. ábra: A lineáris vágótöltet elhelyezése és behatolása IPE 400 acélgerendába.....                   | 86 |
| 26. ábra: A robbantásos plattírozás elvi vázlata.....  | 88 |

|  |    |
|--|----|
| 27. ábra: 3 mm vastag, grade 2 titán lemez robbantásos hegesztése 3 mm KO33 acélhoz<br>.....   | 89 |
| 28. ábra: 3 mm vastag KO33 lemez robbantásos hegesztése 3 mm vastag KO33<br>lemezhez.....  | 89 |
| 29. ábra: 5 mm vastag vörösréz lemez robbantásos hegesztése 3 mm vastagságú KO33<br>lemezhez.....  | 89 |
| 30. ábra: 200 $\mu\text{m}$ (b); és 500 $\mu\text{m}$ (j) felbontású felvétel a vörösréz és a KO33 acél között<br>kialakult kohéziós kötésről..... | 90 |
| 31. ábra: A kerámia-por robbantásos tömörítésének elvi vázlata.....  | 91 |
| 32. ábra: Tengelyszimmetrikus cső plattírozás felépítése.....  | 92 |
| 33. ábra: A tórusz szerű hullámfront kialakulása.....  | 93 |
| 34. ábra: KO36-Vörösréz tengelyszimmetrikus plattírozott termék.....   | 93 |
| 35. ábra: Huzalszikraforgácsolással vágott fémszerkezet.....   | 94 |
| 36. ábra: Helyszíni készítésű, 500 és 1000 ml vizet tartalmazó katonai víznyomás<br>töltetek.....  | 95 |
| 37. ábra: A robbantásra előkészített töltet, 2x1000ml vízzel.....  | 96 |
| 38. ábra: A nyílászáró imitáció szerkezete és a TKR munkavégző képessége.....  | 97 |



## MELLÉKLETEK

### **1. számú melléklet: A TKR bemutatója 2021. szeptember 28-án**

A TKR első nyilvános bemutatására a CerTrust Kft. Balatonfüzfő-Gyártelepen lévő kísérleti robbantó telephelyén került sor, az alábbi szervezetek társ-szervezésében:

- Óbudai Egyetem BGBMK Biztonságtudományi Doktori Iskola;
- Magyar Robbantástechnikai Egyesület;
- Magyar Katonai Logisztikai Egyesület;
- Magyar Hadtudomány Társaság Műszaki szakosztály.

Tekintve hogy a közel 90 fő látogató sokféle szervezettől érkezett, ezért egy általános célú bemutatót került megtartásra, melynek célja a termék biztonságos használatát és alkalmazhatóságát volt hivatott demonstrálni. A következő robbantások keretében történt a TKR általános ismertetése:

- A robbanóanyag egységcsomag bemutatása, összekeverése és indíthatóságának bemutatása 8-as erősségű gyutaccsal.
- 18 mm átmérőjű műanyagcsőben történő indíthatóság vizsgálat és fémlemez deformálódás bemutatása.
- 8 mm átmérőjű vékony alumínium hüvelyben történő indíthatóság vizsgálata, annak demonstrálására, hogy alacsony kritikus átmérőben is alkalmazható.
- -20°C-ra hűtött TKR indíthatóságának vizsgálata.
- 200 g 30 napnál régebbi bekeverésű TKR indíthatóságának vizsgálata.
- Lineáris vágótöltet alkalmazása.

### **2. számú melléklet: MH 1. Honvéd Tűzszerész és Hadihajós Ezred, tűzszerész szakembereinek tartott bemutató**

A bemutatóra 2021. december 2-án került sor 9 fő, többségében 1. osztályú tűzszerész részvételével. A robbantások a tűzszerész feladatok elvégzéséhez köthető munkák szerint került rendezésre. Ezek a következők voltak:

- Vágótöltet 4x5mm fémlemez céltárgyon,
- 100g TKR fémlemezen,
- 50g alumíniummal erősített TKR fémlemezen,
- 300g TKR FDM házban 35mm vastag homogén céltárgyon.

A bemutatót kötetlen beszélgetés zárta, melynek során olyan témaköröket vitattunk meg, amelyek a tűzszerész mentesítési munkák során alkalmazható robbanóanyagoknál kritikusak. Ilyenek például: vízállóság, időjárás állóság, kritikus átmérő, kompatibilitás más robbanóanyagokkal. Végző konklúzióként az a vélemény alakult ki, hogy nem a

Semtex vagy a TNT préstest kerülhet vele kiváltásra, hanem mint tartalék robbanóanyag különleges robbantási munkáknál, mint például: gyalogsági lőszer megsemmisítése, fegyverek robbantásos megsemmisítése, és minden olyan terület ahol lokalizáltan, és kevés robbanóanyag felhasználásával kell feladatot végrehajtani. A TKR erre lehetőséget biztosít úgy is, hogy a brizanciája és alakíthatósága miatt ötvözi a trotil és a plasztikus robbanóanyag tulajdonságait.

### **3. számú melléklet: MH 5. Bocskai István Lövészdandár, Művelettámogató Műszaki Zászlóalj műszaki szakembereivel végrehajtott bemutató**

A bemutatóra 2021. december 9-én került sor, amelyen közel 30 fő vett részt. A műszaki zárási, illetve műszaki robbantási feladatokhoz illesztve, a következő elemekből állt a bemutató:

- 150g TKR segítségével drótkötél robbantás,
- 100g TKR beton oszlopon rátett töltet,
- 150g TKR akáctuskó robbantás,
- Vágótöltet, 4x5mm fémlemez céltárgyon,
- 300g TKR, FDM házban 35mm vastag homogén céltárgyon,
- 50g TKR fémzsanér, ajtó zsanér robbantás.

A műszaki támogatási feladatok ellátása során sok esetben nagy mennyiségű robbanóanyag szükséges. Elég egy híd robbantására, fedezék robbantására, vagy harckocsi tüzelőállás robbantására gondolni, ahol a 25 kg-tól a több 100 kg is lehet a szükséges mennyiség. Ebben az esetben nem feltétlenül a TKR a helyes választás mivel ekkora méretben a bekeverése és bekevert anyag homogenizálása bonyolult feladat. Azonban az ilyen robbantási feladatok sem rendszeresek vagy tipikus feladatok. Hasonlóan a tűzszerész munkához, itt is a speciális feladatok esetén kerülhetnek előtérbe. Jellemző példája a drótkötél robbantása (lásd az ábrát). Ezt jellemzően TNT préstesttel végzik iker töltet alkalmazásával, azokat a kötél két ellentétes oldalán elhelyezve, hogy a robbanás hatására jelentkező nyíróhatás a drótkötelet eltépje. Ez a TKR esetében egyszerűen kivitelezhető mivel a csomagolás lehetőséget ad a drótkötélre való rátekerésre, így minimalizálható a repeszhatás és a felhasználandó robbanóanyag mennyisége is.

#### **4. számú melléklet: MH 2. vitéz Bertalan Árpád Különleges Rendeltetésű Dandár szakemberei részére szervezett bemutató, különleges műveleti feladatok ellátásához kapcsolódó tematika**

A bemutatóra 2022. április 20-án került sor. A bemutató oktatási-workshop jellegű volt, amelynek célja feltérképezni, hogy a speciális feladatok ellátása esetén milyen módon lenne használható a TKR.

Ezen célközönség felhasználási területe talán a legszűkebb és leginkább kritikus a robbanóanyaggal szemben. Itt érvényesül az az elv, hogy annak „mindent is” tudnia kell. Azaz legyen gyutacsérzékeny, kis mennyiségben is brizáns, kezelésbiztos, érzéketlen. Belátható, hogy kevés robbanóanyag van ezen a területen és itt valóban célzott feladatok vannak. Ennek keretében a következő típusú töltetek működését vizsgáltuk:

- 500g TKR földrobbantó-romboló töltétként alkalmazva,
- Vágótöltet heterogén fémszerkezeten,
- EFP<sup>112</sup> töltet fa szerkezetre,
- EFP töltet fém szerkezetre,
- Irányított repesztöltet,
- Ajtó zárbetét robbantás.

A bemutató során egyöntetű pozitív vélemény alakult ki mivel bebizonyosodott, hogy a TKR-t a kedvező csomagolása, veszélytelen szállíthatósága a robbantási feladat helyszínére, és a kiváló munkavégző képessége alkalmassá teszi az alakulat egyes speciális feladatainak elvégzésére. Mindegyik robbantási feladat a várt vagy annál jobb eredményt hozott. Különösen az 50g és a kisméretű töltetek alkalmazása bizonyult előnyösnek, mivel jól alakíthatóak, biztonságosak és kellő erősségűnek bizonyultak.

#### **5. számú melléklet: A TKR vizsgálataihoz felhasznált mérőeszközök és vizsgáló eszköz képek**

| Sorszám | Azonosító szám | Megnevezés                      |
|---------|----------------|---------------------------------|
| 1       | CT0013         | Sartorius analitikai mérleg     |
| 2       | CT0089         | Ohaus NVT6201 mérleg            |
| 3       | CT0113         | Ahlborn Almemo 2590 adatrögzítő |
| 4       | CT0003         | Tolómérő                        |
| 5       | CT0010         | Mérőszalag                      |
| 6       | CT0159         | Pol Eko ILW240 Inkubátorkamra   |
| 7       | CT0134         | Pol Eko ZLN Fagyasztószekrény   |

<sup>112</sup> Explosively Formed Penetrátor – robbanással formált lövedék.

|    |               |  |
|----|---------------|--|
| 8  | CT0054        | Pol Eko SLW 240 Smart szárítószekrény        |
| 9  | CT0148        | IFM PA 3024nyomástávadó                      |
| 10 | CT0035-CT0040 | K-típusú Hőelemek                            |
| 11 | CT0025        | Julius Peters Berlin 21 Dörzsgép             |
| 12 | CT0128-CT0131 | Dörzsgép súlykészlet                         |
| 13 | CT0161        | BAM ejtőkalapács                             |
| 14 | CT0060-62-64  | Ejtőkalapács súlykészlet                     |
| 15 | CT0149        | Chronos detonációsebességmérő                |
| 16 | -             | Explomet FO2000 detonációsebességmérő        |
| 17 | CT0012        | TM-4 Detonation time meter robbanási időmérő |
| 18 | CT0154        | Sűrűségmérő henger                           |

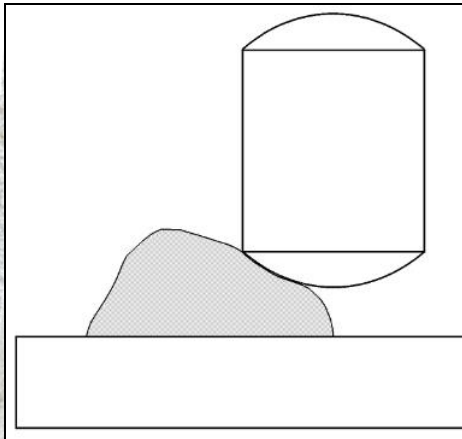


*A hőállóság vizsgálat eszközei - a kép jobb oldalán a kvarchomok mint referencia anyag látható*



*Julius Peters dörzsgép dörzszékekenyég vizsgálat közben*

| Gewicht                | Kerbe |      |      |      |      |      |
|------------------------|-------|------|------|------|------|------|
|                        | I.    | II.  | III. | IV.  | V.   | VI.  |
| 1                      | 0,5   | 0,6  | 0,7  | 0,8  | 0,9  | 1,0  |
| 2                      | 1,0   | 1,2  | 1,4  | 1,6  | 1,8  | 2,0  |
| 3                      | 2,0   | 2,4  | 2,8  | 3,2  | 3,6  | 4,0  |
| 4                      | 3,0   | 3,6  | 4,2  | 4,8  | 5,4  | 6,0  |
| 5                      | 4,0   | 4,8  | 5,6  | 6,4  | 7,2  | 8,0  |
| 6                      | 6,0   | 7,2  | 8,4  | 9,6  | 10,8 | 12,0 |
| 7                      | 8,0   | 9,6  | 11,2 | 12,8 | 14,4 | 16,0 |
| 8                      | 12,0  | 14,4 | 16,8 | 19,2 | 21,6 | 24,0 |
| 9                      | 18,0  | 21,6 | 25,2 | 28,8 | 32,4 | 36,0 |
| Belastung in Kilogramm |       |      |      |      |      |      |



*A dörzsgép súly táblázata, valamint a minta elhelyezkedése a két porcelán felület között*



*Ejtőkalapács ütészérenység vizsgálat közben*



*Acél hengerek és az acél gyűrű az ütészérenység vizsgálata után*

**6. számú melléklet: Vizsgálati jegyzőkönyv modul-B**

## Vizsgálati jegyzőkönyv

**Hőállóság, ütés- és dörzsérzékenység, sűrűség,  
detonációsebesség meghatározása és  
gyújtóeszközök ellenőrzése**

Vonatkozó szabványok: EN 13631-2:2003; EN 13631-3:2005; EN 13631-4:2003; EN 13631-10:2005; EN 13631-13:2003; EN 13631-14:2005;

Vonatkozó jogszabályok: 2014/28/EU irányelv

Az EU-típusvizsgálatot a Tanusító Kft, mint Bejelentett Szervezet végezte

|                                 |            |   |                 |               |  |
|---------------------------------|------------|---|-----------------|---------------|--|
| Jegyzőkönyv száma:              |            | VJK-001/2022                                    |                 |               |  |
| Projektszám:                    |            | 00000001  |                 |               |  |
| Termék neve:                    |            | TKR   |                 |               |  |
| Termék típusa:                  |            | Több komponensű helyszíni keverésű robbanóanyag | UN0048;<br>1.1D |               |  |
| A minta azonosítása:            |            | Gyártás ideje:                                  |                 | Azonosító jel |  |
|                                 |            | 2022 Q1   |                 | -             |  |
| A minta összetétele             | Megnevezés | A Komponens                                     | B Komponens     |               |  |
|                                 | (%)        | 50  | 50              |               |  |
| Gyártó neve és címe:            |            | Minta Kft<br>Mintaváros, Minta utca 1; 1111     |                 |               |  |
| Kérelmező neve és címe:         |            | Minta Kft<br>Mintaváros, Minta utca 1; 1111     |                 |               |  |
| Vizsgálatot végző laboratórium: |            | Tanusító Kft. Vizsgáló laboratórium             |                 |               |  |
| Vizsgálat helye:                |            | H-8184 Balatonfüzfő,                            |                 |               |  |
| Sorszám vagy csomagszám:        |            | N/A   |                 |               |  |

megjegyzés:

### Vizsgálati eredmények – Robbanóanyag hőállósága

EN 13631-2:2003

| Reakció (I/N) | Színváltozás | Túlnyomás (I/N)          | Max. eltérés a referenciától (°C) | Tömegveszteség | Megjegyzés |
|---------------|--------------|--------------------------|-----------------------------------|----------------|------------|
|               |              |                          |                                   | g              |            |
| Nincs         | Nincs        | Nincs;<br>max<br>0,42bar | +0,2°C                            | 0,2            | -          |

**Vizsgálati eredmények – Robbanóanyag dörzsérzékenységének meghatározása**

EN 13631-3:2003

| Vizsgálóberendezés:               |         | Julius Peters Berlin 21 készülék |   |   |   |   |   |                 |                |  |            |  |
|-----------------------------------|---------|----------------------------------|---|---|---|---|---|-----------------|----------------|--|------------|--|
| Terhelő súly száma / osztás száma | Erő (N) | Vizsgálat eredményei             |   |   |   |   |   |                 | Reakciók száma |  | Megjegyzés |  |
| 9/6                               | 360N    | 0                                | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -               | -              |  |            |  |
| <b>Dörzsérzékenység (N)</b>       |         |                                  |   |   |   |   |   | <b>&gt;360N</b> |                |  |            |  |

Magyarázat: "0" nincs reakció, "X" reakció

**Vizsgálati eredmények – Robbanóanyag ütésérzékenységének meghatározása**

EN 13631-4:2003

| Vizsgálóberendezés:        |                      |             | BAM ejtőkalapács     |   |   |   |   |               |   |   |                |            |
|----------------------------|----------------------|-------------|----------------------|---|---|---|---|---------------|---|---|----------------|------------|
| Ejtő súly tömege (kg)      | Ejtési magasság (mm) | Energia (J) | Vizsgálat eredményei |   |   |   |   |               |   |   | Reakciók száma | Megjegyzés |
| 5                          | 400                  | 20          | 0                    | 0 | 0 | 0 | X | X             | - | - | 2              | -          |
| 5                          | 300                  | 15          | 0                    | 0 | 0 | 0 | 0 | 0             | - | - | 0              | -          |
| 5                          | 200                  | 10          | 0                    | 0 | 0 | 0 | 0 | 0             | - | - | 0              | -          |
| <b>Ütésérzékenység (J)</b> |                      |             |                      |   |   |   |   | <b>15-20J</b> |   |   |                |            |

Magyarázat: "0" nincs reakció, "X" reakció

**Vizsgálati eredmények – Robbanóanyag sűrűségének meghatározása**

EN 13631-13:2003

| Vizsgáló térfogat (cm <sup>3</sup> )               | Robbanóanya g tömege (g) | Megjegyzés    |
|--|--------------------------|---------------|
| 100  | 129,2                    | -             |
| 100  | 131,1                    |               |
| 100  | 128,1                    |               |
| <b>A minta átlagos sűrűsége (g/cm<sup>3</sup>)</b> |                          | <b>1,2946</b> |

**Vizsgálati eredmények – Detonáció sebesség meghatározása és a gyújtás ellenőrzése**

| Vizsgálat körülményei              | hőmérséklet (°C):                                      | 21                        |                 |
|------------------------------------|--|---------------------------|-----------------|
|                                    | páratartalom (%):                                      | 51                        |                 |
| Robbanóanyag                       | méret (mm):  | 14*1mm acélcső            |                 |
|                                    | fojtás módja:  | -                         |                 |
|                                    | hőmérséklet (°C):                                      | 19                        |                 |
| Robbanóanyag megjelenése:          | ömlesztett   |                           |                 |
| Vizsgálóberendezés:                | Ionizációs érzékelővel ellátott detonációsebesség mérő |                           |                 |
| Nº                                 | Szondák közötti távolság (mm)                          | Detonációs sebesség (m/s) | Megjegyzés      |
| 1.                                 | 100 [T0-T1]  | 5405                      | teljes robbanás |
| 2.                                 | 250 [T0-T2]  | 5342                      |                 |
| 3.                                 | 350 [T0-T3]  | 5319                      |                 |
| 4.                                 | 150 [T1-T2]  | 5300                      |                 |
| 5.                                 | 100 [T2-T3]  | 5263                      |                 |
| 6.                                 | 250 [T1-T3]  | 5285                      |                 |
| <b>Gyújtás módja: No.8 gyutacs</b> |  |                           |                 |
| <b>Átlagos detonáció sebesség</b>  |  | <b>5318</b>               | <b>m/s</b>      |

|  |                            |
|--|----------------------------|
| Megjegyzés:<br>-   | Melléklet:                 |
| Hely és dátum:<br>Budapest, 2022.05.19.<br>Verziószám: 01    | Bejelentett Szervezet 1111 |
| <hr style="width: 20%; margin-left: auto;"/> Vizsgáló Mérnök |                            |

**7. számú melléklet: Értékelő jelentés modul B**

Bejelentett Szervezet  
1111

**Értékelő jelentés**  
EU típusvizsgálatról

|                                 |             |                   |
|---------------------------------|-------------|-------------------|
| <b>Értékelő jelentés száma:</b> | EJ-001/2022 | Projektszám: 1111 |
|---------------------------------|-------------|-------------------|



|                      |   |                                   |              |  |
|----------------------|---|-----------------------------------|--------------|--|
| <b>Gyártó</b>        | Név:  | Minta Kft;                        |              |  |
|                      | Cím:  | Mintaváros,<br>Minta utca 1; 1111 |              |  |
| <b>Termék neve</b>   | TKR   | <b>ADR kategória:</b>             | UN0048, 1.1D |  |
| <b>Termék típusa</b> | Több komponensű helyszíni keverésű robbanóanyag |                                   |              |  |
| <b>Gyártás ideje</b> | 2022  |                                   |              |  |
| <b>Vizsgálat</b>     | helye:  | Balatonfüzfő                      |              |  |
|                      | ideje:  | 2021-2022                         |              |  |

**Az értékelés eredménye**  
**A termék megfelel / nem felel meg a 2014/28/EU irányelv alapvető biztonsági követelményeinek.**  
**Műszaki szempontból a tanúsítvány kiállítása: JAVASOLT**

Hely és Dátum:

Budapest, 2022.05.19.

Verziószám: 01

alíírás

**A tanúsító szervezet engedélye nélkül a jelentés részleges másolata nem engedélyezett.**  
**A jelentés nem jogosít fel valamely biztonsági jel használatára.**

Részletes értékelő jelentés

|                              |  |               |                    |
|------------------------------|--|---------------|--------------------|
| Vizsgálati jegyzőkönyv száma | <b>VJK-001/2022</b>                                    | Termék neve   | <b>TKR</b>         |
| Termék típusa                | <b>Több komponensű helyszíni keverésű robbanóanyag</b> | ADR kategória | <b>UN0048 1.1D</b> |

| Szabvány        | Követelmény  | Eltérések száma |
|-----------------|--|-----------------|
| EN 13631-1:2005 | 4. követelmények                                     |                 |
| 4.1             | Hőállóság  | 0               |
| 4.2             | Dörzsérzékenység                                     | 0               |
| 4.3             | Ütésérzékenység                                      | 0               |
| 4.4             | Vízállóság   | -               |
| 4.5             | Hidrosztatikus nyomással szembeni ellenálló képesség | -               |
| 4.6             | Biztonságos kezelhetőség extrém hőmérsékleten        | 0               |

|      |   |   |
|------|---|---|
| 4.7  | Töltési biztosság                                 | 0 |
| 4.8  | Iniciáléeszközök ellenőrzése                      | 0 |
| 4.9  | Detonációátadás                                   | - |
| 4.10 | Sűrűség   | 0 |
| 4.11 | Detonációsebesség                                 | 0 |
| 4.12 | Termodinamikai tulajdonságok                      | - |
| 5.1  | Toxikus gázok                                     | - |
| 5.2  | Veszélyes környezetben alkalmazott robbanóanyagok | - |

### Értékelés

| Szakaszok / alszakaszok<br>EN 13631-1:2005 | Alapvető biztonsági követelmények<br>2014/28/EU irányelv szerint | Eredmény |
|--|--|----------|
| 4.1  | I.1, II.1(b), II.1(d)  | Megfelel |
| 4.2  | I.1., II.1(c)  | Megfelel |
| 4.3  | I.1., II.1(c), II.3.1.(a)  | Megfelel |
| 4.4  | I.1., I.2., II.1(b), II.1(f), II.1(j), II.3.1.(a)                | n/a      |
| 4.5  | I.1., I.2., II.1(b), II.1(f), II.1(j), II.3.1.(a)                | n/a      |
| 4.6  | I.1., I.2. II.1(d), II.1(g), II.1(j), II.3.1.(a); II.3.1.(b)     | Megfelel |
| 4.7  | I.2., II.1(f), II.1(j), II.3.1.(a), II.1(j)                      | Megfelel |
| 4.8  | I.2. II.1(b), II.1(j), II.1(m), II.3.1.(a)                       | Megfelel |
| 4.9  | I.2., II.1(j), II.3.1.(b)  | n/a      |
| 4.10.                                      | I.1., I.2., II.1(a)  | Megfelel |
| 4.11                                       | I.2.; II.1(a)  | Megfelel |
| 4.12                                       | I.2.; II.1(a)  | n/a      |
| 5.1  | II.3.1.(c)   | n/a      |
| 5.2  | I.2., II.1(h)  | n/a      |

#### 8.számú melléklet: Tanúsítvány modul B

# TANÚSÍTVÁNY

polgári alkalmazású robbanóanyagokról

2014/28/EU irányelv szerint,

## B Modul

A tanúsítványt kiállította: Tanusító Kft.  
mint XXXX azonosító számú Bejelentett Szervezet

EU-típusvizsgálati tanúsítvány száma: XB 123456 001

A vizsgálatokat és az értékelést a Tanusító Kft, mint xxxx azonosító számú  
Bejelentett Szervezet végezte

**Termék neve: TKR**

**A vizsgálat és az értékelés eredménye**

**A termék megfelel az EU típusvizsgálati tanúsítványban leírt típusnak és a  
2014/28/EU irányelv szerinti B modul követelményeinek.**

**Gyártó:** Minta Kft;  
Mintaváros,  
Minta utca 1; 1111

**Vizsgálati jegyzőkönyv száma:** VJK-001/2022

**Értékelő jelentés száma:** EJ-001/2022

Bejelentett Szervezet XXXX

Hely és Dátum:

Budapest, 31 05 2023

Verzió: 01

Tanusító

**A termékre, annak használatára, tárolására és megsemmisítésre vonatkozó  
adatok**

**Terméknév:** TKR

**Termék fajtája:** Több komponensű helyszíni keverésű robbanóanyag

**Felhasználási terület:** Felhasználható bányászatban indítótöltényként (booster), rátett töltésként. Különböző polgári-ipari robbantásokhoz kőzetben és beton-tégla szerkezetekben. Alkalmas vágótöltetek megtöltésére. Felhasználható továbbá a csomagolás sértetlensége megléte mellett vizes fúrólukokban is. Sújtólég veszélyes, por és gázrobbanásveszélyes környezetben nem felhasználható.

**EU típus tanúsítvány szám:** XB 123456 001

**Gyártó:** Minta Kft

|                              |  |
|------------------------------|--|
| <b>Jellemzők:</b>            | <p><i>Sűrűség:</i> 1,29 kg/dm<sup>3</sup></p> <p><i>Detonációsebesség:</i> 5319m/s (12mm acélcsőben)</p> <p><i>Ütésérzékenység:</i> 15-20J</p> <p><i>Dörzsérzékenység:</i>&gt;360N</p> <p><i>Halmazállapot:</i> folyékony</p> <p><i>Szín:</i> fehér</p> <p><i>Csomagolás:</i> Műanyag edényben 500g-ig</p> <p><i>Javasolt minimális iniciálás:</i> 8-as erősségű gyutacs</p> |
| <b>Eltarthatóság:</b>        | Bekevert állapotban 6 hónap, összekeverés nélkül egységcsomagolásban 1 év.   |
| <b>Tárolási körülmények:</b> | Sugárzó hőtől gyújtó forrástól védeni. Használata közben dohányzás és nyílt láng használata tilos. Robbanóanyag tárolásra alkalmas zárható száraz jól szellőző helységben tárolandó. Tárolási hőmérséklet: -20°C to 40°C.  |
| <b>Megsemmisítés:</b>        | Megsemmisítése történhet szakképzett személyzet által égetéssel. A bekevert robbanóanyag vagy alkotóelemei vízzel történő keveréssel inert nem robbanóképes keverékké alakulnak. Kérdése esetén lépjen kapcsolatba a gyártóval.  |
| <b>UN szám, áruosztály:</b>  | UN 0048, 1.1D  |

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnék köszönetet mondani Prof. Dr. Lukács László témavezetőmnek, aki tudásával, tapasztalatával és nagyszerű személyiségével folyamatosan tartotta bennem a lelket, kezdetektől fogva hitt bennem és témám eredményességében.

Köszönetet kell mondanom Tasnádi Gábornak, kollégámnak – barátomnak, aki lehetővé tette a szakmai kibontakozásomat, kutatásomat. Hozzájárult a cég minden eszközének használatához és anyagi, erkölcsi értelemben is végletekig támogatott.

Megköszönöm Dr. Szabó Gyulának, valamint az Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola oktatóinak és támogató munkatársainak minden segítségét.

Köszönöm a Diószeg Imrének, Nemes Józsefnek, Dr. Bohus Gézáknak, hogy pályám kezdetén felkaroltak és támogatták lépéseim.

Legnagyobb köszönettel családomnak tartozom, akik türelemmel és a megértéssel viselték dolgozatom elkészültét. Doktori képzésem során mindvégig segítettek, bátorítottak és támogattak.