

Kugyela Lóránd<sup>1</sup>

## KISMÉRETŰ, ÖNTÖTT ROBBANÓANYAGBÓL KÉSZÜLT ÜREGES TÖLTETEK GYÁRTÁSA KÍSÉRLETI CÉLBÓL

### (MANUFACTURING OF SMALL SIZED POINT FOCAL SHAPED CHARGES FROM MELT CAST EXPLOSIVES FOR EXPERIMENTAL PURPOSES)

*Cikkem előzményeként az üreges robbanóanyag töltetek történelméről, a kumuláció kialakulásáról és a töltetek méretezéséről írtam<sup>2</sup>. Jelen írásom gyakorlati tapasztalatokat dolgoz fel, melynek során bemutatjuk, hogy az öntéssel eljárás milyen komplex, gyártástechnológiai fegyelmet kíván. Az elkészült robbanóanyag testek összehasonlító vizsgálata préselt, és plasztikus robbanóanyagokkal a cikkem folytatásaként lesz olvasható.*

**Kulcsszavak:** kumulatív töltetek, öntött robbanóanyag kompozit-B,

*As a preliminary to my article I wrote about the history of hollow explosive charge, cumulative formation, and scaling of charges. My present paper deals with practical experiences, which shows how complex, manufacturing technology discipline is in the casting process. I examine the operation of the generated explosive bodies on metal targets, thereby testing their performance. The different charges performance from the melt cast explosives will be compared with pressed, and plastic explosives in the following article*

**Keywords:** point focal shaped charge, melt casting, composite-B,

## AZ ÖNTÖTT ROBBANÓANYAG ALAPANYAGAI ÉS AZOK TULAJDONSÁGAI

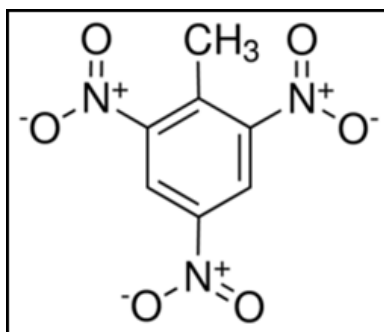
Napjainkig az öntött robbanóanyag keverékek egyik legfontosabb alkotóeleme a trotil (TNT). Ennek elsősorban az a magyarázata, hogy olcsó, jól kezelhető, valamint jó kémiai és fizikai stabilitás jellemzi. Mindemellett előnyössé teszi a felhasználás tekintetében az is, hogy olvadáspontja elég alacsony, illetve az olvadáspont (~80-81°C) és az elpuffanás pontja (~300°C) [1] közötti hőmérséklet tartományban, az olvadéka biztonságosan kezelhető. A trotil olvadék, egyúttal megfelelő mátrixot képez különböző öntött robbanóanyagok gyártásához is. A hozzáadott anyagok száma jelentős lehet, a legfontosabbak: RDX, HMX, PETN, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, Tetril, Al, Ba(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. [2] [4].

<sup>1</sup> TÜV Rheinland Intercert Kft, Vezető vizsgáló mérnök - robbanóanyagok, [lorand.kugyela@hu.tuv.com](mailto:lorand.kugyela@hu.tuv.com)  
ORCID: 0000-0002-2869-8864.

<sup>2</sup> Lásd „Üreges töltetek tervezési sajátosságai, főbb paraméterei”, Műszaki Katonai Közöny XXVII. évfolyam, 2017. évi 4. szám, pp. 196-211.; <http://hhk.archiv.uni-nke.hu/downloads/kiadvanyok/mkk.uni-nke.hu/13.htm>

## TNT JELLEMZŐI

A TNT-t (1-metil-2,4,6-trinitrobenzol) 1863-ban szintetizálta egy német vegyész *Julius Wilbrand*, aki sárga ruhafestékként tervezte felhasználását. [3] Sokáig nem használták robbanóanyagként mivel nehezen tudták megoldani a megfelelő indítását (iniciálását). 1902-től Németországban tüzérségi lövedékek töltetként találkozunk vele a gyakorlatban, majd a sikeres kezdeti tapasztalatokat követően lassan kiszorította az addig elsődleges helyen lévő pikrinsavat, mivel annak számos tulajdonságát jóval felülmúlta. [4].



1. ábra: A TNT szerkezeti ábrája<sup>3</sup>

A trotil citromsárgától a halványsárgás színig előforduló, acetóban, benzolban, toluolban oldódó kristályos robbanóanyag. Legtöbbször lemezkék formájában kerül forgalomba, ez az úgynevezett *'flake'*. A gyártás során a TNT olvadékot hűtött felületre csurgatják, ahol az szétterülve, de gyorsan megszilárdulva eltávolítható lesz (lásd a 2. ábrát).



2. ábra: A TNT lemezkék gyártása [5]

Egyéb tulajdonságait tekintve  $C_7H_5N_3O_6$  összegképletű, -73,9% oxigénegyenlegű aromás vegyület. A lemezes TNT sűrűsége  $1,6g/cm^3$  körüli, az olvadéké pedig  $1,4g/cm^3$ . Jól préselhető, préseléssel elért legnagyobb sűrűsége  $1,64 g/cm^3$ , azonban ez – a kis mennyiségű

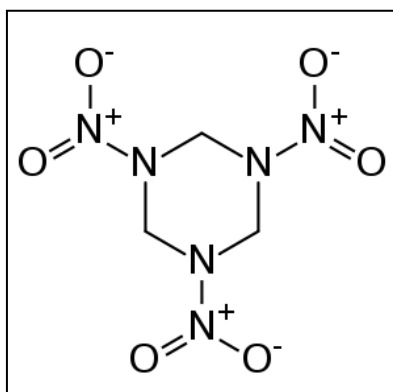
<sup>3</sup>:<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c4/Trinitrotoluene.svg/250px-Trinitrotoluene.svg.png> 2017. 10. 18.

forrópont elem miatt – gyutaccsal már nem, kizárólag boosterrel indítható. Hat izomerje van, de ezek közül csak az alfával jelöltnek (2,4,6...) van jelentősége ebben a témakörben. Kimagasló kémiai stabilitás jellemzi, olvadékból történő újrakristályosodása után sem figyelhető meg bármilyen elváltozás, még akkor sem, ha ezt több mint 60 alkalommal teszik meg. [6]

Olvadékból történő újrakristályosodásnál orto-rombos kristályszerkezet jön létre, ahol a kristálynövekedések miatt keletkező repedések és rések miatt 11%-os zsugorodás figyelhető meg [6]. Ez a tulajdonsága képviseli az öntött robbanóanyagoknál a legfőbb problémát, mivel ez a zsugorodás még odafigyeléssel is elválásokat okozhat a lövedéktestben, illetve repedéseket, réseket a szilárdulás során. Ennek kiküszöbölésére nagyon sokféle megoldást találtak ki kezdve a kontrolált hűtés fokozattól, a kontrollált hűtési irányig, vibráció alkalmazásáig vagy éppen más kristályosodó vegyi anyagok használatáig. Mindegyik megoldás nagy odafigyelést, és kontrollt igényel.

## HEXOGÉN JELLEMZŐI

A hexogént (RDX; 1,3,5-trinitro-1,3,5-triaza-ciklohexán) a német *Georg Friedrich Henning* állította elő először 1898-ban. Gyógyászati célra szánta azonban kiderült számára, hogy tulajdonságai szerint akár hajtóanyagként is megfelelne. [4]. 1920 körül már komolyabban foglalkoztak tulajdonságai kutatásával, majd 1930-ra széles körben elterjed robbanóanyagként használták világszerte. A hexogén fehér színű kristályos robbanóanyag  $C_3H_6N_6O_6$  összegképlettel és  $1,82\text{g/cm}^3$  sűrűséggel. [6]



3. ábra: Az RDX szerkezeti ábrája<sup>4</sup>

Magas detonációsebessége, és kémiai stabilitása miatt a világon a TNT mellett a leginkább elterjedt, elsősorban katonai robbanóanyag. Számos robbanóanyag keverék kiindulási alapanyaga. Viszonylag magas olvadáspontja ( $\sim 202^\circ\text{C}$ ), valamint azon tulajdonsága miatt, hogy olvadáspontja fölött nem sokkal már elkezd bomlani ( $\sim 213^\circ\text{C}$ ). önmagában nem használják öntött robbanóanyagokhoz. A trotilban kismértékben oldódik: 100g TNT  $85^\circ\text{C}$ -on 4,7g hexogént old fel.  $79,0^\circ\text{C}$ -on a trotilal eutektikumot alkot, ahol  $4,1\text{ g/cm}^3$  oldódik fel a TNT-ben. Többek között ez a tulajdonsága is lehetővé teszi, hogy trotil-hexogén keverék robbanóanyagok egész skáláját gyártsák szerte a világon, mind a mai napig. [6].

<sup>4</sup> <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/8c/RDX.svg/297px-RDX.svg.png>; 2017. 10. 18.

## ROBBANÓANYAG KEVERÉKEK

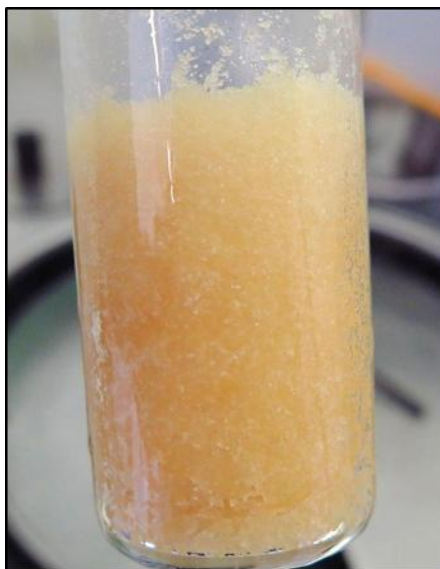
Az amerikai illetve angol nomenklátúra három csoportot különböztet meg

- Viasszal történt keverékek a Composite A; A-2; A-3.
- TNT-RDX elegyek a Composite B; B-2 B-3, B-4 vagy általános nevükön: hexolite; hexotol. (A keverékek elnevezése a hozzájuk adott egyéb adalékszerek alapján változik. Bővebben lásd az Irodalomjegyzék 2. anyagában T280-T281 oldalon.)
- Plasztifikáló szerekkel kevert robbanóanyagok a Composite C; C-2; C-3; C-4. [1] [7].

Mindemellett az alkalmazási terület igényei szerinti termékeknél egyéb fémporokat, illetve más robbanóanyagokat is felhasználnak a gyártás során, azonban a legtöbb keverékben jelen van a TNT. Jól préselhető, 3-4% viasztartalom szükséges a prézéshez (mivel a viasz a nyomás hatására megolvad és kötőanyagként segít összefogni a préstestet).

Két fajta hexogént különböztetünk meg, az egyik az „A” típusú mely nem tartalmaz oktogént (HMX) és 202°C – 203°C közötti az olvadáspontja, valamint a „B” típust, amelyben 8-12% oktogén szennyezettség van, és 192°C-193°C közötti az olvadáspontja [6].

Kísérleteim során az öntött kumulatív robbanóanyagtesthez a klasszikus 60:40 RDX-TNT súlyszázalékot tartalmazó keveréket használtam. Habár teljesítmény szempontjából a 70:30 arányú keverék (ciklotol) jobb lenne, azonban ez alacsony viszkozitása és „kásaszerű” állaga miatt nehezen önthető. Az állaguk még magasabb hőmérsékleten is inkább „ikrásodott méz” szerű, nehezen önthető (ezt a lentebb ismertetett kísérletem is alátámasztotta).



**4. ábra: 70:30 arányú ciklotol „olvadék” [8]**

Ezzel szemben, a 60:40 arányú keverék, leginkább cukrászati sütemény massa látszatát keltő, nehezebben folyó viszkózus anyag (lásd az 5 ábrát).

Ezt a tulajdonságot szokták javítani méhviasz hozzáadásával, amely kötést képez az olvadékban lévő TNT és a sokkal magasabb hőmérsékleten olvadó hexogén között. Ezzel csökkenti az olvadék viszkozitását, hozzájárulva az öntés minőségéhez.



**5. ábra: 60:40 arányú kompozit-B olvadék [8]**

A ciklotolok felhasználása inkább a magasabb teljesítményt követelő termékek esetében elterjedt, elsősorban a katonai felhasználású töltetek esetén. A civil területen felhasznált kumulatív termékek szinte kizárólag préseléssel készülnek.

A hagyományos öntési eljárással  $1,68-1,70\text{g/cm}^3$  sűrűség érhető el, azonban ha ezt vákuum alatt végzik, elérhető a  $1,715-1,720\text{g/cm}^3$  érték is [6]. Növelhető a hatásfok, ha az öntvény tetején összegyűlt olvadék felső részét eltávolítják (mivel az a nagyobb TNT tartalmú rész). Ezáltal egy közel homogén hexogén eloszlású robbanóanyagtest érhető el.

A 60:40 keverék valahol a két alapanyag tulajdonságait ötvözi: mind az ütés- mind a dörzsérzékenysége a TNT és RDX értékei között található. Azonban meg kell említeni, hogy bármilyen arányú is a keverék, hosszabb időn keresztül tárolás esetén, főleg ha magasabb hőmérsékletek is előfordulnak, akkor megfigyelhető a „kiizzadás”, ami az alacsonyabb forráspontú TNT izomerekre vezethető vissza. Ez nem kívánatos jelenség főleg annak a tekintetében, hogy ez a kiválás a vas, bronz és réz részeket megtámadhatja hosszabb idő után, ahol trotilátokat képezhet, melyek érzékenyebbek a mechanikai hatásokra mindkét alkotóelemtől.

## KÍSÉRLETI ÖNTÉSI ELJÁRÁSOK ISMERTETÉSE

A robbanóanyag gyártáshoz, és vizsgálatához felhasznált eszközöket igyekeztem úgy összeválogatni, hogy egyrészt képet kapjak az öntés során megjelenő problémákról, másrészt ismereteket szerezzek, hogy azokat egy gyártás során miként lehet kiküszöbölni. A TNT megolvasztásához egy alumíniumból készült és teflonbevonatú kisebb méretű edényt használtam. A fedőt egy nagyobb méretű Petri csészével pótoltam. Mivel az olvadék előállításához minimum  $82-85^\circ\text{C}$  szükséges, ezért egy vízfürdős termosztátot (MLW U15 típus, 1000W fűtési teljesítménnyel) találtam alkalmasnak a feladatra. Desztillált víz helyett gépjárművekben használt hűtőfolyadékot alkalmaztam mivel a forráspontja nagyobb, mint a vízé, és így nem kellett a hosszú időn át tartó melegítés miatt gondoskodni a folyadékpótlásról. A felfűtés monitorozására több ponton végeztem méréseket, annak



KUGYELA LÓRÁND: Kisméretű, öntött robbanóanyagból készült üreges töltetek gyártása kísérleti célból

ellenére, hogy vizes fűtőközegben lehetetlen elérni a TNT elpuffanás pontját. A termosztát  $0,5^{\circ}\text{C}/\text{perc}$ ,  $7,5^{\circ}\text{C}/10$  perc tendenciával melegített, és ezt 4 ponton követtem figyelemmel. A fűtőközeg közel 25 liter volt, de a beépített keverő miatt nem tapasztaltam látható lényegi különbséget a mérési pontok között.

Miután a rendszer hőmérséklete állandósult, megkezdődött az olvasztási folyamat, ahol először a 70:30 keveréket szerettem volna megvizsgálni kezelhetőség szempontjából. A keverékhez 7,5g trotilt és 17,5g hexogént használtam. Az olvadékhoz történő hozzákeverés után azonnal látszódott, hogy a trotil mennyisége szinte csak arra elegendő, hogy a hexogén kristályait bevonja és egy egyenletes frakció eloszlású „kását” képezzen majdan. Annak ellenére, hogy a RDX gyárilag tartalmazott 5% viaszt, nem sikerült önthető keveréket gyártanom belőle, még hosszabb melegítés hatására sem (6. ábra). Mivel ez a rendszer nem bizonyult alkalmasnak arra, hogy elég hőt közöljön ahhoz, hogy a TNT viszkózusabbá váljon, így ezt a keveréket elvettem, és a 60:40 arányú keverék mellett döntöttem.



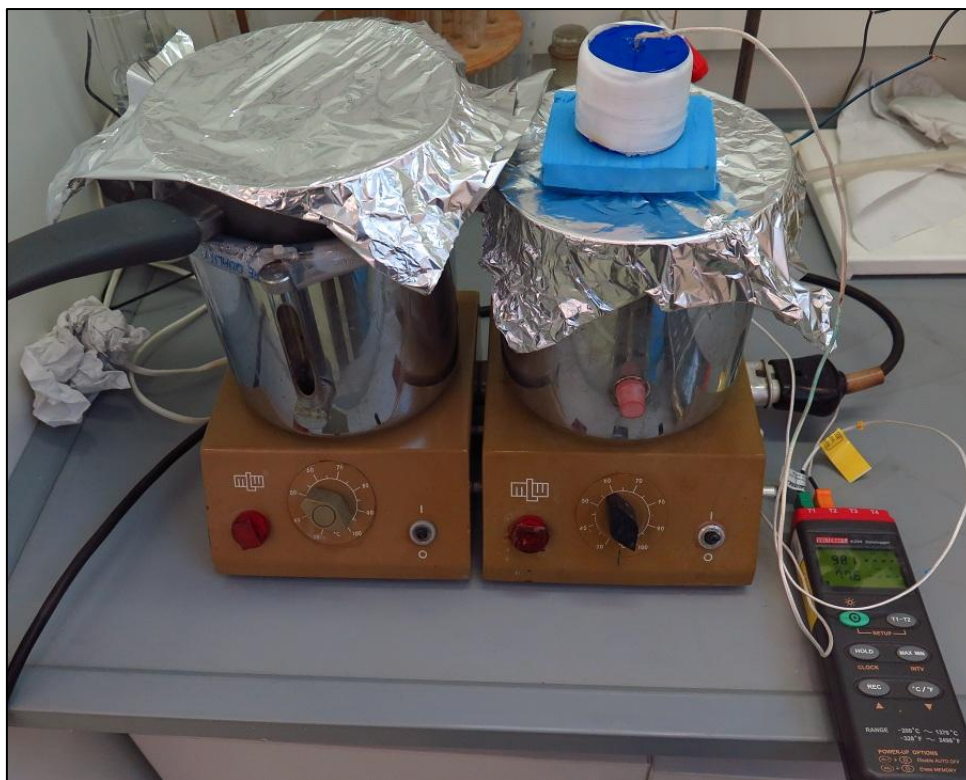
**6. ábra: RDX:TNT, 70:30 keverék, az összekavarás utáni állapotban [8]**

A 60:40 keveréket valódi laborkörülmények között terveztem vizsgálni. Azt akartam megfigyelni, ahogy a két alapanyag keveredik. Ezért a TNT-t kémcsőbe helyeztem (amiben jól követhető volt az olvadás), ehhez adtam hozzá a hexogént apróbb részletekben. Az olvadék, ami egy túltelített oldatként, néhány másodperccel a fűtő közegből való eltávolítás után a kémcső nagy felületű hővezetése miatt azonnal elkezdett kristályosodni, ezáltal lehetetlenné tette az öntést (lásd a 7. ábrát).



**7. ábra: Olvadt TNT és a keverő pálcán megszilárdult Comp-B [8]**

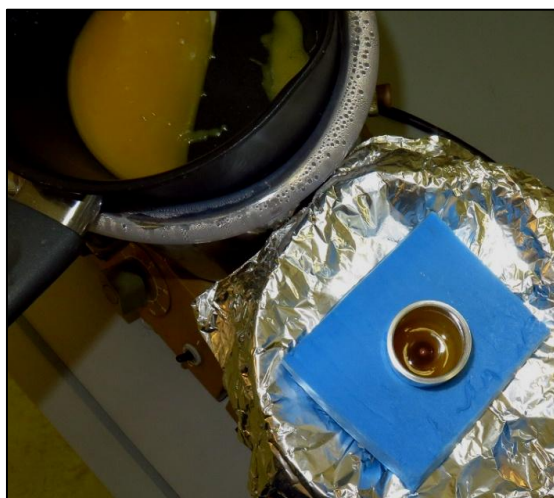
Ezek alapján az addig megfelelőnek hitt melegítő és olvasztó rendszert felül kellett bírálni. A korábban hatásosnak hitt vízfürdő helyett a továbbiakban gőzfürdőt alkalmaztam az edény melegítésére, hiszen egy forrásban lévő víz fölötti gőz hőmérséklete alig marad el a forrásban lévő folyadékatól. Mivel nem csak az oldadék hőmérsékletének fenntartása, hanem a robbanóanyag burkolatának hőmérséklet fenntartása is problémás volt, ezért annak fűtését is gőzzel valósítottam meg. Közben az is beigazolódott, hogy minden szigetelésbeli, vagy gőzvesztéséget okozó rész több fokkal csökkentette a fűtőközeget.



**8. ábra: A gőzfürdős rendszer [8]**

KUGYELA LÓRÁND: Kisméretű, öntött robbanóanyagból készült üreges töltetek gyártása kísérleti célból

A 8. ábrán, baloldalon a kompozit B olvasztására szolgáló edény látható. Nagy jelentősége van az alufóliának, ami segíti az olvadék felszínének homogén tartását. Amennyiben ez nincs az edényen, akkora a hő veszteség, hogy az elszívó kamra légárama is vissza tudja hűteni az olvadék felületét úgy, hogy a hexogén gyári viasztartalma kidermedjen. Jobb oldalon a rázóval felszerelt gőzfürdő látható a robbanóanyag test melegen tartására. Ennek azért van nagy jelentősége, mert a robbanóanyag betöltésekor nem kezdődik meg azonnal a kristályosodási folyamat, így a rázó motornak van ideje a légmentes, közel homogén robbanóanyag test kialakításra. A hőmérővel mért maximális hőmérséklet a kísérleti béléstest kúpon  $94,3^{\circ}\text{C}$  volt, ami jóval magasabb, mint a TNT olvadáspontja. Ez azt garantálja, hogy az öntés során nem dermed rá azonnal a béléstestre, és a kúp közelében egyenletes lesz az öntött robbanóanyag.



**9. ábra: Gőzfürdős, olvasztás, öntés [8]**

A 9. ábrán jól látszik az edényben lévő robbanóanyag olvadék mézhez hasonlító megjelenése, és jobboldalt a még folyadék állapotú robbanóanyag a béléskúp körül. Az alumínium hüvely körül található kék „gallér” a hőszigetelést és a gőz visszazárását segítő Polifoam lemez. Miután az öntés befejeződött, folyóvíz alatt történt a hűtés, miközben a kérgesedő felszín körkörös visszatördelésével minimalizáltam a zsugorodás által képzett krátert.



**10. ábra: A hűtés [8]**

Az öntési eljárások egyik sajátossága szemben a préseléssel, hogy az öntött robbanóanyag súlyát nem lehet pontosan meghatározni, illetve nagyobb a szórás a töltöttömegek között. A



préselés esetén ismert mennyiségű anyagot raknak a prés szerszámba, amiből a kiporlódással csak minimális veszteség keletkezik. Az öntés során azonban nincs lehetőség a robbanóanyagtest mérésére, így a bekerült robbanóanyagot általánosságban „szintre” illetve térfogatra töltik, ami azt eredményezi, hogy az egyes töltetek tömege között lehet bizonyos eltérés. Ez több kiló robbanóanyag esetén nem számottevő, azonban olyan esetben ahol precíziós eszközt kell gyártani, illetve néhány gramm mennyiségekről beszélünk, nagy jelentősége van még annak is, hogy mennyi anyag megy veszendőbe az edény falán, vagy a keverőlapátokon. Emiatt többféle töltési térfogatot készítettem, mert így látható a robbanóanyag mennyiség változtatásának hatása a céltárgyon.



**11. ábra: Az öntött préstestek [8]**

A 11. ábrán jól látható, hogy milyen nehézségekkel jár kis tételben öntött üreges töltetet készíteni, azonban az elkészítésük nagyon sok tapasztalatot ad arra vonatkozóan, hogy melyek a kritikus pontjai egy öntési folyamatnak. A két öntési technika közül egyértelműen a gőzös fűtési rendszerű bizonyult alkalmasabbnak. Azonban a rugalmasság tekintetében elgondolkodtató lehet egy olyan gyártási rendszer, ahol az öntési folyamatot ki lehetne váltani egy in-situ öntéssel. Azaz már konkrétan a testben történne az olvasztás keverés. Kétségtelenül nagyobb bekerülési költséget, egyben produktivitás esést okozna, azonban jelentősen csökkentené a töltési súly szórását, az öntési veszteséget és a veszélyforrást, amit konkrétan az öntési folyamat képez. A keverés például nehezebb lenne, de ez egy speciális öntött keverékkel készült termék árában kompenzálható is lehetne. Azt fontosnak tartom leszögezni, hogy nem tömegtermelés eszköze lehet ez az eljárás, hanem olyan precíziós eszközök gyártását szolgálná, ahol fontosabb a teljesítmény, mint a darabszám, illetve van az a fizetőképes terület ahol ezt a többletet hajlandóak megfizetni.

Ilyen kevés robbanóanyagot felhasználó gyártás csak speciális esetekben létezik a valóságban. Azonban az öntési eljárás sajátosságai nem különböznek a több kilogrammos mennyiséget igénylő gyártástechnológiáktól. Cikkem következő részében az elkészült öntött kumulatív testek, valamint a plasztikus és a préselt robbanóanyagok teljesítményeit összehasonlító vizsgálatokat fogom bemutatni.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Explosives; 6th edition, Rudolf Meyer, Josef Köhler, Axel Homburg; Wiley-VCH & Co. KGaA, Weinheim, 2007. pp. 336-337
- [2] Encyclopedia of explosives and related items. volume 9, Kaye, Seymour M., Herman, Henry L. Army Armament Research And Development Center Dover 1980.
- [3] Wilbrand, J. (1863). "Notiz über Trinitrotoluol". Annalen der Chemie und Pharmacie. 128 (2): 178–179.
- [4] The Chemistry of Explosives, 2nd. edition; Jacqueline Akhavan, Royal Society of Chemistry, 2004
- [5] [http://chemringnobel.no/wp-content/uploads/2013/12/Melt-Cast-SKMBT\\_C360131204160301-copy3-e1410390075714.jpg](http://chemringnobel.no/wp-content/uploads/2013/12/Melt-Cast-SKMBT_C360131204160301-copy3-e1410390075714.jpg) 2017. 10.12.
- [6] TM 9-1300-214 Military Explosives, Department of Army Technical Manual, 1984.
- [7] Encyclopedia of explosives and related items. volume 3, Basil T. Fedoroff, Oliver E. Sheffield, Army Armament Research And Development Command TACOM ARDEC 1966.
- [8] Saját fotó